



TUGAS AKHIR - SF141501

PENGARUH KONFIGURASI IDCS (*INTER DIGITAL CAPACITOR*) TERHADAP PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL*

**ULFA NISWATUL KHASANAH
NRP 1113100013**

**Dosen Pembimbing
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Diky Anggoro M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



TUGAS AKHIR - SF141501

**PENGARUH KONFIGURASI IDCS (*INTER
DIGITAL CAPACITOR*) TERHADAP
PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL***

**ULFA NISWATUL KHASANAH
NRP 1113100013**

**Dosen Pembimbing
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Diky Anggoro M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT - SF141501

**THE EFFECT OF IDCS (INTERDIGITAL CAPACITOR
SENSOR) CONFIGURATION TO CRUDE OIL
PERMITTIVITY**

**ULFA NISWATUL KHASANAH
NRP 1113100013**

**Advisor
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Diky Anggoro M.Si**

**Physics Department
Faculty of Mathematics and Science
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH KONFIGURASI IDCS (*INTER DIGITAL CAPACITOR SENSOR*) TERHADAP PENGUKURAN PERMITIVITAS *CRUDE OIL*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Sains
pada
Bidang Instrumentasi
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ULFA NISWATUL KHASANAH

11 13 100 013

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing I

Dr. Melania Suweni Muntini, MT

Dosen Pembimbing II

Diky Anggoro, M.Si



(Signature)
.....
(Signature)
.....

PENGARUH KONFIGURASI IDCS (*INTERDIGITAL CAPACITOR*) TERHADAP PERMITIVITAS *CRUDE OIL*

Nama Mahasiswa : Ulfa Niswatul Khasanah

NRP : 1113100013

Jurusan : Fisika

Dosen Pembimbing: Dr.Melania Suweni Muntini, MT

Diky Anggoro, M.Si

Abstrak

Pemanasan induksi elektromagnetik merupakan metode produksi *crude oil* yang mampu menghasilkan panas di dalam *reservoir* tanpa proses pembakaran. Untuk mengetahui efisiensi dari metode tersebut, perlu dilakukan pengukuran permitivitas *crude oil*. Penelitian ini menggunakan sensor berbasis kapasitor yang disebut IDCS. Penelitian ini menggunakan variasi konfigurasi IDCS yang meliputi lebar elektrode, lebar *gap*, dan jumlah *unit cell*. Hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh kesimpulan bahwa permitivitas *crude oil* mengalami penurunan ketika lebar elektrode, lebar *gap*, dan jumlah *unit cell* bertambah. Permitivitas udara dengan error terkecil yaitu 2,73 % ketika diukur menggunakan konfigurasi IDCS tipe 6 dengan spesifikasi lebar elektrode 2 mm, lebar *gap* 3 mm, dan jumlah *unit cell* 9. Hasil perhitungan permitivitas *crude oil* menggunakan jenis IDCS diatas diperoleh permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman kurang dari 1500 ft (*Crude oil A*) adalah 3,09, permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman 1500-2000 ft (*Crude oil B*) adalah 2,2 dan permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman lebih dari 2000 ft (*Crude oil C*) adalah 3,6. Dengan *crude oil* yang sama, dilakukan pula pengukuran permitivitas menggunakan VNA dengan hasil permitivitas *crude oil A* adalah 4,6, permitivitas *crude oil B* adalah 4,03, dan permitivitas *crude oil C* adalah 5,62.

Kata Kunci : *crude oil*, IDCS, kapasitansi, permitivitas

THE EFFECT OF IDCs (INTERDIGITAL CAPACITOR SENSOR) CONFIGURATION IN CRUDE OIL PERMITTIVITY

Name : Ulfa Niswatul Khasanah
NRP : 1113100013
Department : Physics Department, Faculty of Mathematics and Sciences, Sepuluh Nopember Institute of Technology
Advisor : Dr.Melania Suweni Muntini, MT
Diky Anggoro, M.Si

Abstract

Electromagnetic induction heating is a promising method to increase oil production. Electromagnetic induction heating is a method that is quite promising at this time to be able to produce heat directly in the reservoir without any combustion process. To determine the efficiency of these methods it is necessary to measure the permittivity of crude oil. Given that the permittivity is also defined as the ability of a material to store, distribute and reflect the energy of electromagnetic waves. Based on the description related flaws permittivity measurement method, this research, IDCs capacitive sensor is used to measure and calculate the value of the permittivity of crude oil. This study uses a variation of IDCs configuration that includes the electrode width, gap width, and the number of unit cell. IDCs are measured using a measuring instrument RCL meter to measure the results in the form of capacitance. Capacitance obtained were diunit picofarads this is caused by a very thin layer of copper of 0.01 mm. Based on variations in the configuration, found that the electrode width, gap width, and the number of cell units have an important role in the measurement and calculation of permittivity. Parameter changes affect the measurement results permittivity, where the smaller the width of the gap getting smaller error. Configure IDCs in accordance

with the measurement of crude oil is IDCs electrode with a width equal to the width of the gap is 1 mm. Crude oil with a type A has a relative permittivity of 4.3 to 4.6, Crude oil type B has a permittivity of between 3.3 to 4, Crude oil type C have a permittivity of between 5.2 to 5.6.

Keywords: crude oil, IDCs, capacitance, permittivity

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

Pengaruh Konfigurasi IDCS terhadap Pengukuran Permitivitas *Crude oil*

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata -1 Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini disusun dengan memanfaatkan teori-teori penunjang yang didapatkan selama proses perkuliahan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, MT dan bapak Diky Anggoro, M.Si selaku dosen pembimbing atas segala bantuan, perhatian, arahan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan serta masukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Supriono dan Ibu Zuliati yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan baik moril maupun materil, memberikan nasehat, memotivasi dan membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Dimas Yemahura Alfarauq yang senantiasa memberikan nasehat, dukungan dan doa bagi penulis.
4. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan nasehat dan arahan bagi penulis
5. Bapak dan ibu dosen dan karyawan Jurusan Fisika yang telah banyak memberikan ilmu dan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.

6. Seluruh anggota tim riset *crude oil* yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Seluruh anggota laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Badri Gigih S, M. Syaifuddin, Bekti Panca, Rozaq Alfian, Asrofi, Luqman Aji K, Mas Haerul, Mas Samsul, dan Mbak Risse yang telah membantu menyelesaikan masalah yang penulis hadapi dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Irasani Rahayu, Afidah Zuroida, Nihlatunnur, Viona Hazar, Dini Fadhila yang senantiasa menemani penulis dalam suka maupun duka
9. Teman-teman angkatan 2013 yang senantiasa mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis selama proses penyelesaian tugas akhir.
10. Seluruh keluarga besar *Study House* yang telah memberikan pengertian, dukungan, doa, dan motivasi bagi penulis.

Semoga tuhan YME membalas segala budi baik yang telah diberikan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya. Penulis tentunya berharap isi proposal ini tidak meninggalkan celah, berupa kekurangan atau kesalahan. Namun kemungkinan akan selalu tersisa kekurangan yang tidak disadari oleh penulis. Oleh sebab itu, penulis menerima saran dan kritik dapat lebih baik lagi. Akhir kata, penulis sampaikan terima kasih.

Surabaya, 5 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| <i>PAGE TITLE</i> | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| <i>ABSTRACT</i> | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | x |
| DAFTAR TABEL | xi |
| | |
| BAB I. PENDAHULUAN | |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Masalah | 2 |
| 1.4 Batasan Penelitian | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Penulisan | 3 |
| | |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| 2.1 Crude oil | 5 |
| 2.2 permitivitas | 7 |
| 2.3 Kapasitansi | 9 |
| 2.4 IDCS | 11 |
| 2.5 VNA | 14 |
| | |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN | |
| 3.1 Pendahuluan | 17 |
| 3.2 Pengukuran IDCS | 20 |
| 3.2.1 Persiapan Pengukuran | 20 |
| 3.2.2 Pengukuran dan Pengambilan data | 27 |
| 3.3 Pengukuran menggunakan VNA | 29 |

| | |
|---|----|
| 3.3.1 Persiapan Pengukuran | 29 |
| 3.3.2 Pengukuran dan pengambilan data | 34 |
| BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN | 37 |
| 4.1 Perhitungan Permittivitas IDCs | 37 |
| 4.2 Perhitungan permittivitas menggunakan VNA | 45 |
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN | 49 |
| 5.1 Kesimpulan | 49 |
| 5.2 Saran | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA | 51 |
| LAMPIRAN | 53 |
| BIODATA PENULIS | 81 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Distribusi medan listrik | 8 |
| Gambar 2.2 | Plat Kapasitor | 9 |
| Gambar 2.3 | Proses Polarisasi | 10 |
| Gambar 2.4 | Model IDCS | 12 |
| Gambar 2.5 | Network Analyzer | 14 |
| Gambar 3.1 | Diagram alir penelitian | 18 |
| Gambar 3.2 | Skema pengukuran IDCS | 19 |
| Gambar 3.3 | Pengukuran metode <i>Transmission/Reflection</i> | 19 |
| Gambar 3.4 | Desain IDCS | 20 |
| Gambar 3.5 | Blok diagram pengukuran menggunakan RCL | 23 |
| Gambar 3.6 | IDCS | 23 |
| Gambar 3.7 | Kabel tunggal | 24 |
| Gambar 3.8 | RCL meter tipe PM 6303 A | 24 |
| Gambar 3.9 | Kotak material | 25 |
| Gambar 3.10 | Sampel <i>crude oil</i> tipe A, B, C | 25 |
| Gambar 3.11 | Termometer TM 903 A tipe K11 | 26 |
| Gambar 3.12 | Hasil kalibrasi RCL meter | 27 |
| Gambar 3.13 | Pengukuran dan pengambilan data IDCS | 28 |
| Gambar 3.14 | Blok diagram pengukuran dengan network analyzer | 30 |
| Gambar 3.15 | Vector networkk analyzer | 31 |
| Gambar 3.16 | Kabel koaksial | 32 |
| Gambar 3.17 | Antena Horn | 32 |
| Gambar 3.18 | <i>Device under test</i> mika | 33 |
| Gambar 4.1 | Hubungan antara kapasitansi dan lebar elektrode | 38 |
| Gambar 4.2 | Hubungan antara permitivitas dan lebar elektrode | 39 |
| | Grafik antara kapasitansi dan lebar <i>gap</i> | |
| Gambar 4.3 | Hubungan antara permitivitas dan lebar <i>gap</i> | 40 |
| Gambar 4.4 | Hubungan antara kapasitansi dan jumlah <i>unit</i> | 41 |
| Gambar 4.5 | <i>cell</i> | 42 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 4.6 | Hubungan antara permitivitas dan jumlah <i>unit cell</i> | 43 |
| Gambar 4.7 | Hubungan antara kapasitansi, lebar elektroda dan lebar <i>gap</i> | 44 |
| Gambar 4.8 | Hubungan antara permitivitas, lebar elektroda dan lebar <i>gap</i> | 45 |
| Gambar 4.9 | Nilai VSWR saat kalibrasi port S_{11} | 46 |
| Gambar 4.10 | Nilai S_{11} saat kalibrasi port S_{11} | 46 |
| Gambar 4.11 | Grafik permitivitas crude oil menggunakan IDCS dan VNA | 48 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabel 3.1 | Variasi lebar elektrode | 21 |
| Tabel 3.2 | Variasi lebar <i>gap</i> | 21 |
| Tabel 3.3 | Variasi jumlah <i>unit cell</i> | 21 |
| Tabel 3.4 | Variasi lebar elektrode dan lebar <i>gap</i> | 22 |
| Tabel 4.1 | Permitivitas <i>crude oil</i> | 47 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan dielektrik memiliki peran yang penting dalam kelistrikan, karena dapat menyimpan muatan listrik. Ketika bahan dielektrik berada dalam medan listrik, muatan listrik yang terkandung didalamnya tidak mengalami pergerakan sehingga tidak menimbulkan arus seperti bahan konduktor atau semikonduktor, tetapi hanya bergeser sedikit dari posisi setimbangnya yang mengakibatkan pengutuban. Seiring dengan kemajuan teknologi, pemanfaatan permitivitas material semakin meningkat, sehingga untuk mendapatkan nilai permitivitas yang akurat dibutuhkan alat ukur permitivitas yang tepat. Salah satu pemanfaatan permitivitas material yaitu digunakan untuk mengukur range frekuensi pada metode pemanasan *crude oil* menggunakan gelombang elektromagnetik (Rachmat, 2009).

Salah satu alat ukur berbasis sensor yang dikembangkan adalah sensor kapasitif yang bekerja berdasarkan prinsip kapasitansi. Secara praktis, nilai permitivitas sering dikaitkan dengan kelistrikan material isolator yang ditempatkan diantara dua keping kapasitor. Apabila material tersebut dikenai medan listrik yang dipasang diantara kedua keping kapasitor, maka didalam bahan tersebut terbentuk dipol listrik. Sehingga pada permukaan bahan terdapat muatan listrik yang terinduksi. Sehingga nilai permitivitas dapat diperoleh melalui metode kapasitor plat sejajar. Sensor yang sedang dikembangkan adalah *InterDigital Capacitor Sensor* (IDCS). Salah satu penelitian IDCS yaitu digunakan untuk mengukur kandungan larutan gula. IDCS dicetak pada sebuah bahan isolator dengan lapisan campuran tembaga yang sangat tipis (Angkawisittpan, 2012). Agar diperoleh nilai permitivitas yang akurat, maka dibutuhkan sebuah desain IDCS yang tepat. Untuk mendapatkan desain IDCS yang tepat, maka diperlukan penelitian terkait parameter desain IDCS.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana mengetahui hubungan antara perubahan konfigurasi IDCS (*Inter Digital Capacitor sensor*) terhadap permitivitas *crude oil*
2. Bagaimana Mendapatkan konfigurasi IDCS yang tepat untuk mengukur permitivitas *crude oil*
3. Bagaimana cara mendapatkan nilai permitivitas pada masing-masing sampel *crude oil*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui hubungan antara perubahan konfigurasi IDCS (*Inter Digital Capacitor sensor*) terhadap permitivitas *crude oil*
2. Mendapatkan konfigurasi IDCS yang tepat untuk mengukur permitivitas *crude oil*
3. Mendapatkan nilai permitivitas pada masing-masing sampel *crude oil*.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan baik digunakan beberapa batasan masalah diantaranya:

1. Lapisan konduktor yang digunakan untuk membuat IDCS merupakan lapisan campuran tembaga
2. Penelitian dilakukan pada suhu ruang yaitu antara suhu 26-27°C
3. Perubahan konfigurasi IDCS (*Inter Digital Capacitor sensor*) meliputi lebar *gap*, jumlah dan lebar elektrode.
4. Bahan isolator yang digunakan untuk desain IDCS yaitu FR-4 dengan permitivitas 4,75 F/m

1.5 Manfaat Penelitian

Setelah penelitian ini dilakukan, diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya:

1. Memberikan pemahaman tentang macam-macam metode pengukuran permitivitas
2. Memberikan informasi terkait proses pengukuran dan perhitungan permitivitas menggunakan IDCS (*Inter Digital Capacitor sensor*)
3. Memberikan tambahan pengetahuan bagi mahasiswa pada khususnya dan masyarakat luas pada umumnya tentang penelitian Pengaruh Konfigurasi IDCS (*Inter Digital Capacitor Sensor*) Terhadap Permitivitas *Crude oil*
4. Memberikan informasi terkait penelitian-penelitian dibidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

1. Bab I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.

2. Bab II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.

4. Bab III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi alat dan bahan, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.

5. Bab IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil-hasil yang

didapat dari pengerjaan pada penelitian ini, yaitu hasil pengujian konfigurasi IDCS dan secara keseluruhan serta berisi data dan analisa data dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

5. Bab V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.

6. Lampiran : Berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Crude oil*

Crude oil (minyak mentah) merupakan suatu campuran senyawa hidrokarbon yang tidak uniform. *Crude oil* memiliki karakteristik yang bervariasi dari sumur minyak yang satu ke sumur minyak yang lainnya meskipun dalam lokasi yang tidak berjauhan. Hal ini disebabkan oleh berbagai faktor, dimana setiap *crude oil* memiliki molekul penyusun yang berbeda yang dapat dilihat dari ciri-ciri fisik, sifat kimia, warna, dan viskositas. *Crude oil* terbentuk melalui dua cara yaitu secara organik dan anorganik. Pada proses pembentukan secara organik, *crude oil* diperoleh melalui penguraian senyawa organik dari jasad organisme jutaan tahun lalu yang berada di dasar laut, dasar danau atau delta. Sisa-sisa organisme tersebut mengendap di dasar lautan, kemudian ditutupi oleh lumpur. Lapisan lumpur tersebut lambat laun berubah menjadi batuan karena pengaruh tekanan lapisan di atasnya. Sementara itu, dengan meningkatnya tekanan dan suhu, bakteri anaerob menguraikan sisa-sisa jasad renik tersebut dan mengubahnya menjadi minyak dan gas. Proses pembentukan minyak bumi dan gas ini memakan waktu jutaan tahun. Minyak dan gas yang terbentuk meresap dalam batuan yang berpori seperti air dalam batu karang. Minyak dan gas dapat pula bermigrasi dari suatu daerah ke daerah lain, kemudian terkonsentrasi jika terhalang oleh lapisan yang kedap (Ardhelas, 2012).

Teori anorganik dikemukakan oleh Barthelok (1866) yang menyatakan bahwa didalam minyak bumi terdapat logam alkali yang bereaksi dengan kalsium karbonat (CaCO_3) dan menghasilkan kalsium karbida (CaC_2) dan air yang menghasilkan asetilen. Asetilen dapat berubah menjadi minyak bumi pada temperatur dan tekanan tinggi. Persamaan reaksi tersebut dapat ditulis sebagai berikut :



Secara alamiah *crude oil* terdiri dari komponen hidrokarbon dan komponen non hidrokarbon. *Crude oil* memiliki campuran senyawa hidrokarbon sebanyak 50-98% dari berat *crude oil* tersebut, sisanya terdiri atas komponen non hidrokarbon. *Crude oil* terdiri dari 84-87% Karbon, 11-14% Hidrogen, 0-3% Sulfur, 1% Nitrogen dan 0-2% Oksigen. Jenis molekul penyusun hidrokarbon meliputi alkana, sikloalkana, dan hidrokarbon aromatik. Alkana disebut juga parafin yang merupakan hidrokarbon dengan rantai lurus dan bercabang yang molekulnya hanya mengandung karbon dan hidrogen dengan rumus umum C_nH_{2n+2} . Sikloalkana dikenal dengan nama naptena. Naptena adalah senyawa hidrokarbon yang memiliki satu atau lebih ikatan rangkap pada karbonnya. Naptena memiliki rumus umum C_nH_{2n} dan mempunyai ciri-ciri mirip alkana namun memiliki titik didih yang tinggi. Sedangkan hidrokarbon aromatik adalah hidrokarbon yang memiliki rumus umum C_nH_n . Apabila hidrokarbon aromatik yang terdapat dalam *crude oil* dibakar maka akan menghasilkan asap hitam pekat dan beberapa bersifat karsinogen.

Selain terdiri dari komponen hidrokarbon, *crude oil* juga terdiri dari komponen non hidrokarbon. Komponen non hidrokarbon meliputi sulfur, oksigen, nitrogen, dan logam. Belerang pada *crude oil* terdapat dalam bentuk hidrogen sulfida (H_2S). Senyawa belerang tidak dikehendaki karena menimbulkan bau tidak sedap dan bersifat korosif. Nitrogen tidak dikehendaki karena dapat mengganggu kelancaran pemrosesan katalik yang dapat berakibat buruk terhadap bau dan kestabilan warna. Oksigen tidak menyebabkan masalah serius seperti halnya nitrogen dan belerang. Kandungan logam yang memiliki prosentase paling tinggi adalah vanadium, nikel dan natrium. Vanadium dan nikel tidak dikehendaki karena merupakan racun bagi katalis pengolahan minyak dan dapat menimbulkan masalah jika terbawa ke dalam produk pengolahan. Produk hasil pengolahan *crude oil* yaitu bensin (*gasoline*) yang digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, minyak tanah (kerosen/parafin) yang merupakan cairan hidrokarbon yang tidak berwarna dan mudah terbakar, minyak

diesel yang sering digunakan dalam bahan bakar industri dan turbin.

2.2 Permittivitas

Permittivitas adalah konstanta yang melambangkan rapatnya fluks listrik dalam suatu bahan jika diberi potensial listrik. Permittivitas diartikan juga sebagai ukuran dari hambatan dalam membentuk medan listrik melalui media. Apabila sebuah bahan dielektrik diletakkan didalam medan listrik luar maka akan timbul polarisasi dalam bahan tersebut. Interaksi antara medan listrik luar dan polarisasi disebut dengan *displacement* (D). Hal ini dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\varepsilon = D / E \quad (1)$$

Keterangan : D = kerapatan fluks listrik (C/m²)

ε = konstanta dielektrikum (F/m)

E = Medan Listrik (N/C)

Dimana diketahui bahwa $D = \frac{Q}{4\pi r^2}$, Sehingga persamaan (1) menjadi

$$\frac{Q}{4\pi r^2} = \varepsilon \cdot E \quad (2)$$

Keterangan : Q = Muatan listrik (C)

Dalam teknologi elektro material dielektrik banyak digunakan pada kapasitor dan sebagai material isolasi. Dimana jumlah muatan yang tersimpan berbanding lurus dengan kapasitansi dan tegangan ($Q = C.V$). Hubungan antara permittivitas dan kapasitansi digambarkan dengan persamaan berikut :

$$\frac{C.V}{4\pi r^2} = \varepsilon \cdot E \quad (3)$$

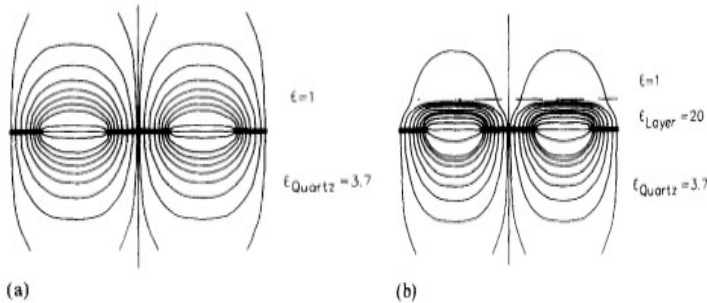
Keterangan: C = Kapasitansi (Farad)

V = tegangan (Volt)

Maka diperoleh persamaan:

$$\varepsilon = \frac{C.V}{4\pi r^2.E} \quad (4)$$

Hubungan medan listrik dan permitivitas dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.1 (a) distribusi medan listrik tanpa penghalang (b) distribusi medan listrik pada IDC (Lin, 1991)

Permitivitas atau sifat dielektrik digambarkan sebagai suatu permitivitas relatif kompleks yang merupakan nilai pembagi antara permitivitas absolute dengan permitivitas ruang hampa, (Nyfors & Vainikain, 1989 dalam Ryynanen, 1995):

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (5)$$

Keterangan:

ε = permitivitas absolut bahan (F/m)

ε_0 = permitivitas ruang hampa ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)

ε = permitivitas relative bahan

Permitivitas biasa dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri dari komponen nyata dan imajiner, yaitu (Risman, 1991 dalam Ryynanen, 1995):

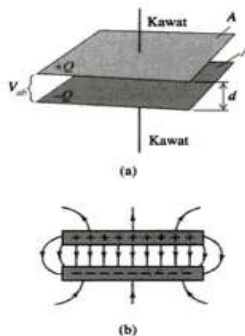
$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon' - j \varepsilon'' \\ &= |\varepsilon| e^{-j \delta} \end{aligned} \quad (6)$$

ε' adalah tetapan dielektrik (*dielectric constant*), ε'' adalah faktor kehilangan dielektrik (*dielectric loss factor*), J

adalah unit imajiner, dan δ adalah sudut hilang dielektrik (*dielectric loss tangent*). Komponen nyata permitivitas tersebut disebut sebagai tetapan dielektrik ϵ' , yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik. Sedangkan komponen imajiner disebut sebagai faktor kehilangan dielektrik ϵ'' yang menyatakan kemampuan bahan untuk menghamburkan energi dan mengkonversinya menjadi panas, yang nilainya selalu positif dan biasanya lebih kecil dari nilai tetapan dielektrik.

2.3 Kapasitansi

Kapasitansi adalah jumlah elektron yang dapat disimpan dibawah tekanan yang diberikan oleh listrik (tegangan/voltase). Sifat kapasitansi dalam elektronika ditunjukkan oleh kapasitor. Kapasitor adalah sebuah komponen elektronik pasif yang menyimpan energi dalam bentuk medan elektrostatis (listrik statis). Oleh karena itu kapasitor digunakan untuk menyimpan muatan listrik. Pada dasarnya, sebuah kapasitor terdiri atas dua pelat konduktor yang dipisahkan oleh ruang yang berisi bahan isolator. Lapisan isolator tersebut disebut sebagai bagian dielektrik pada kapasitor. Pelat sejajar kapasitor terdiri dari dua pelat konduktor paralel dari daerah A dipisahkan dalam d seperti terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.2 (a) sebuah plat kapasitor yang bermuatan, (b) ketika jarak anatara plat sangat kecil dibandingkan ukuran plat

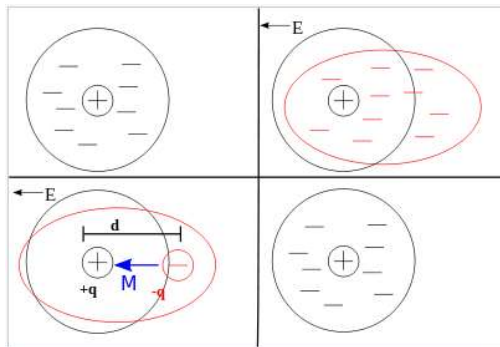
Ketika terdapat bahan dielektrik antara dua plat, maka nilai kapasitansi:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \quad (7)$$

Dengan ϵ_0 adalah permitivitas udara vakum (8.85×10^{-12} F/m). ϵ_r adalah konstanta dielektrik absolut material dan ϵ adalah permitivitas relatif dari bahan dielektrik (F/m)

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (8)$$

Penyisipan dielektrik pada kapasitor pelat paralel akan meningkatkan kapasitansi sebesar ϵ_r kali. Kenaikan kapasitansi dari C_0 menjadi $\epsilon_r C_0$ disebabkan oleh adanya polarisasi. Polarisasi ini terjadi karena pergeseran awan elektron pada atom atau molekul karena adanya medan listrik. Pusat muatan listrik positif dan negatif yang semula berhimpit menjadi terpisah sehingga membentuk dipol. Pemisahan titik pusat muatan ini berlangsung sampai terjadi kesetimbangan dengan medan listrik yang menyebabkannya. Dipol yang terbentuk merupakan dipol tidak permanen, artinya dipol terbentuk selama ada pengaruh medan listrik saja. Jika medan listrik hilang maka titik-titik pusat muatan kembali berhimpit lagi. (Freedman, 2002)

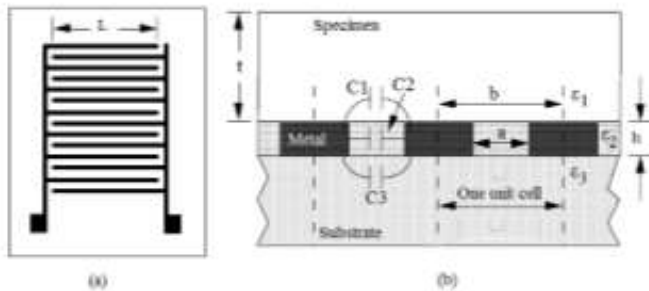


Gambar 2.3 Proses polarisasi ketika dikenai medan listrik luar

Arah medan listrik yaitu dari muatan positif menuju muatan negatif. Atom adalah suatu satuan dasar materi, yang terdiri atas inti atom serta awan elektron bermuatan negatif yang mengelilinginya. Inti atom terdiri atas proton yang bermuatan positif, dan neutron yang bermuatan netral (kecuali pada inti atom Hidrogen-1, yang tidak memiliki neutron). Sehingga pada gambar b ditunjukkan bahwa inti atom yang terdiri atas proton (muatan positif) bergerak menuju arah medan listrik yang merupakan muatan negatif. Begitu pula sebaliknya, dimana kulit atom yang berisi elektron (muatan negatif) bergerak menuju arah medan listrik berasal yaitu dari muatan positif.

2.4 IDCS

Inter Digital Capacitor Sensor (IDCS) merupakan kapasitor dengan bentuk elektrode yang terkonfigurasi secara periodik. IDCS banyak digunakan di bidang kimia dan biologi, IDCS sering digunakan untuk mengetahui tingkat kelarutan material, tingkat kehomogenan larutan gula, dan digunakan untuk mengetahui kandungan gula dalam larutan. Model ini dikembangkan oleh Vayres dan Hanna pada tahun 1980 untuk mengevaluasi sensor dengan struktur lapisan terbatas. Semenjak itu model yang digunakan oleh Veyres dll digunakan dan menjadi peran penting dalam menganalisa struktur IDC dalam variasi aplikasi sains. Pada tahun 1996 Gevorgian Et Al mengusulkan model yang berbeda untuk elektrode IDC yang didiskusikan di Igreja tahun 2004. Adapun model IDC yang digunakan adalah sebagai berikut : (Jun Wan Kim, 2002).



Gambar 2. 4 Model *Interdigital capacitor* sensor

Prinsip *Interdigital capacitor* sama seperti plat kapasitor paralel, bagian yang dianggap sebagai plat kapasitor dan bagian yang akan disisipkan oleh bahan dielektrik yaitu bagian a. Ketebalan elektrode memiliki ketebalan yang sangat tipis (menyerupai lapisan), sehingga nilainya sering diabaikan. Lapisan ini diletakkan pada bahan isolator yang digunakan sebagai substrat. Pada berbagai jurnal yang penulis baca, diketahui bahwa ketebalan dari substrat juga diabaikan. (Yasutomo, 2015)

Berdasarkan persamaan yang digunakan untuk mengukur kapasitansi, permitivitas bahan berbanding lurus dengan nilai kapasitansi. Sehingga dengan menggunakan prinsip kapasitor maka dapat diketahui permitivitas suatu bahan. Kapasitor merupakan komponen pasif yang dapat menyimpan muatan melalui proses polarisaasi setelah dikenai medan listrik. Medan listrik adalah daerah disekitar muatan listrik yang masih dipergunakan oleh gaya listrik. Sehingga antar elektrode positif dan negatif membentuk medan listrik. Seolah-olah medan listrik tersebut memiliki arah dari positif ke negatif.

Dengan memberikan potensial yang berbeda pada IDCS yaitu V_1 dan V_2 , mengakibatkan terjadinya polarisasi muatan dan menghasilkan medan listrik yang menembus film dielektrik, serta substrat bawahnya elektrode ke elektrode lainnya. Sehingga dalam pengukuran ini permitivitas substrat tidak dapat diabaikan. Mengingat permitivitas adalah kemampuan suatu bahan atau

material yang dikenai medan listrik. Nilai kapasitansi tidak hanya bergantung pada konstanta dielektrik atau permitivitas substrat dan film saja. Melainkan lebar elektrode dan jarak elektrode yang berdekatan. IDCS pada gambar 2.3 didesain diatas PCB (*Printed Circuit Board*) untuk merubah perubahan permitivitas kedalam perubahan kapasitansi. Kapasitansi IDCS ditentukan dengan menjumlahkan kapasitansi *unit cell* dua dimensi. Total kapasitansi dari IDCS adalah:

$$C = C_{uc}(N-1)L \quad (9)$$

Keterangan:

C = Kapasitansi total IDCS (Farad)

C_{uc} = Kapasitansi *unit cell* (Farad/m)

N = Jumlah *unit cell*

L = Panjang elektrode (m)

Berdasarkan gambar 2.3 diketahui bahwa:

$$C_{uc} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (10)$$

C_3 adalah kapasitor dengan bahan dielektrikum substrat, sedangkan C_1 dan C_2 merupakan kapasitor dengan bahan dielektrikum tertentu. Berdasarkan gambar 2.3 permitivitas bahan yang akan diukur merupakan permitivitas bahan yang berada pada kapasitor 2. Sehingga diperoleh persamaan berikut ;

$$C_1 + C_3 = \epsilon_0 \left(\frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} \right) \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(\sqrt{k^2})} \quad (11)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{h}{a} \quad (12)$$

$$k = \frac{a}{b} \quad (13)$$

Dengan ϵ_0 adalah permitivitas diruang vakum ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m). ϵ_1 adalah permitivitas material yang akan diuji, ϵ_2 adalah permitivitas material yang berada diantara elektrode, dan ϵ_3 adalah permitivitas relatif dari substrat. Sedangkan $K(x)$ adalah complete elliptic integral jenis pertama (Angkawisittpan, 2012).

2.5 Network analyzer

Network analyzer terdiri dari kata *network* yang memiliki arti jaringan dan *analyzer* yang memiliki arti penganalisa. Sehingga *network analyzer* sering disebut sebagai penganalisa jaringan. Komponen atau peralatan yang dapat dianalisa meliputi peralatan pasif, peralatan aktif dan peralatan yang memiliki sifat keduanya. Macam-macam *network analyzer* yaitu *network analyzer* tipe skalar dan tipe vektor. Tipe skalar hanya mengukur besarnya saja, akurasi lemah, dan digunakan untuk mengukur RL, SWR, gain/loss. Sedangkan tipe vektor mampu mengukur besar dan fasanya, dilengkapi dengan koreksi error, lebih akurat dan mampu mengukur semuanya.

Network analyzer digunakan untuk memastikan distortionless dari transmisi sinyal komunikasi secara linear dan non linear. Pengukuran linear meliputi amplitudo, fasa linear, dan delay, sedangkan pengukuran non linear meliputi getaran harmonik, intermodulation, kompresi, konversi AM ke PM. *Network analyzer* juga digunakan pada antenna untuk memastikan pemasangan yang tepat untuk menyerap daya. Selain beberapa hal yang disebutkan diatas, *network analyzer* juga dapat digunakan untuk mengukur permitivitas bahan. Bentuk *network analyzer* dapat dilihat pada gambar dibawah ini (dwiandi, 2016) :



Gambar 2. 5 *Network analyzer*

Network analyzer tipe vektor (VNA) menggunakan prinsip refleksi dan transmisi. VNA mengukur nilai transmisi dan refleksi sumber gelombang elektromagnetik pada frekuensi gelombang cahaya. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan metode TRL (*Transmission Reflection Line*) dengan MUT (*Material under test*). Kalibrasi diawali dengan mengukur transmisi line diudara yang ditransmisikan oleh port pertama dan diterima oleh detektor port selanjutnya sehingga konstanta transmisi diketahui. Selanjutnya pada port pertama diberikan beban untuk memberikan nilai refleksi menjadi nol dan koefisien transmisi menjadi tak berhingga (*open reflection*). Kemudian MUT diletakkan pada *coaxial transmission line* untuk mengetahui koefisien transmisi S_{21} dan koefisien S_{11} - S_{22} sampel (Pratitajati Endyas, 2012). Parameter S adalah suatu rangkaian yang beroperasi dengan sinyal input cukup kecil sehingga sistem bisa memberikan respon yang linear, dapat dikarakteristikkan dengan parameter yang diukur pada terminal (port) tanpa perlu melihat isi dari rangkaian tersebut. Ketika parameter suatu rangkaian telah ditentukan, maka responnya terhadap inputan dari luar bisa diprediksi. Parameter S (*Scattering parameter*) ini dikembangkan untuk menentukan ciri atau karakteristik jaringan linier pada frekuensi tinggi. Parameter S adalah perbandingan antara sinyal terukur yang direfleksikan dengan sinyal yang ditransmisikan pada port jaringan (Triana, 2010).

Metode yang paling umum digunakan untuk menentukan permitivitas kompleks bahan dielektrik pada frekuensi gelombang milimeter biasanya didasarkan pada teknik pengukuran ruang bebas. Pada teknik *transmission/reflection* dengan menggunakan metode Nicholson dan Ross mencakup kombinasi ketebalan sampel untuk menentukan permitivitas. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\Gamma = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}}\right)^2 - 1} \quad (14)$$

Setelah mendapatkan koefisien refleksi (Γ), koefisien transmisi (T) bisa diperoleh dengan cara:

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21}) \Gamma} \quad (15)$$

Dengan menggunakan bantuan:

$$\frac{1}{\Lambda^2} = - \left(\frac{1}{2\pi L} \ln \left[\frac{1}{T} \right] \right)^2 \quad (16)$$

Dimana L adalah tebal sampel. Permeabilitas relatif suatu bahan (μ_r) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (17)$$

λ_0 adalah panjang gelombang elektromagnetik pada udara, dan λ_c adalah panjang gelombang *cut off*. Sehingga permitivitas relatif suatu bahan dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\epsilon_r = \mu_r \frac{1 - \Gamma^2}{1 + \Gamma^2} \left(1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2} \right) + \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2} \frac{1}{\mu_r} \quad (18)$$

Nicholson dan Ross mengasumsikan ketebalan sampel yang tidak terbatas untuk menghitung koefisien refleksi (Abbas, Zulkifly. 1998)

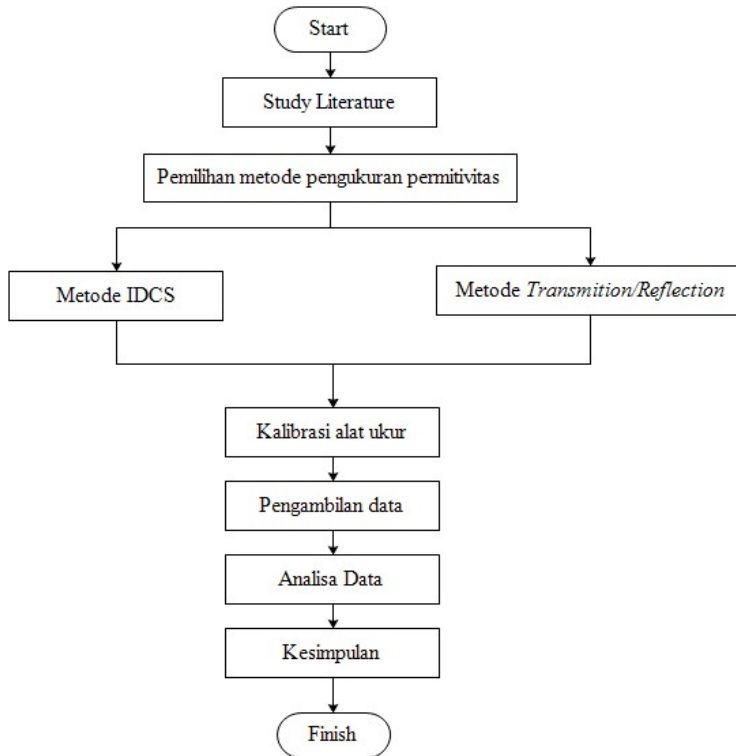
BAB III METODOLOGI

3.1 Pendahuluan

Pada tahap ini akan dijelaskan langkah-langkah dalam melakukan penelitian tentang pengaruh konfigurasi IDCS terhadap permitivitas *crude oil*. Orientasi dalam penelitian ini berupa dihasilkannya desain IDCS yang lebih akurat yang digunakan untuk mengukur permitivitas *crude oil*. Dimana hasil pengukuran permitivitas *crude oil* menggunakan IDCS dibandingkan dengan hasil pengukuran menggunakan *vector network analyzer* (VNA). *Vector network analyzer* adalah alat penganalisa jaringan dimana hasil pengukuran dari alat ukur ini dapat berbentuk skalar dan vektor. Pada penelitian ini digunakan 3 sampel *crude oil* yang diperoleh dari 3 sumur pengeboran PT. Pertamina Persero kota Cepu.

Dalam bidang eksplorasi, Pertamina EP Cepu memiliki 3 fasilitas produksi, fasilitas produksi yang kami kunjungi merupakan fasilitas produksi yang bernama TBR. TBR memiliki 3 sumur yang diberi nama TBR 1, TBR 2, dan TBR 3. Masing-masing TBR memiliki diameter yang sama dan kedalaman yang berbeda-beda. TBR 1 memiliki kedalaman 1500 ft, TBR 2 memiliki kedalaman 1500-2000 ft dan sumur yang paling dalam adalah TBR 3 dengan kedalaman diatas 2000 ft. *Crude oil* pada TBR1 diberi nama sampel *crude oil A*, *Crude oil* pada TBR2 diberi nama sampel *crude oil B*, *Crude oil* pada TBR3 diberi nama sampel *crude oil C*.

Metode yang dilakukan dalam pengukuran ini dibagi atas beberapa tahap seperti yang terlihat pada diagram alir pada Gambar3.1 berikut:



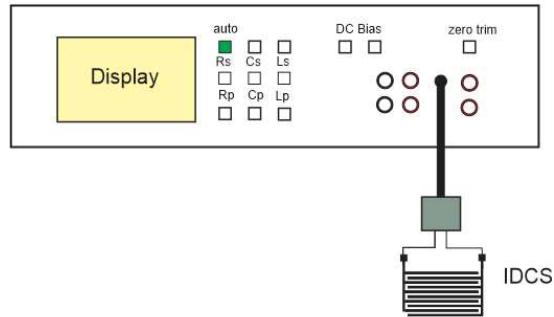
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pengukuran nilai permitivitas *crude oil* dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode. Masing-masing metode disesuaikan dengan spesifikasi bahan perangkat, aplikasi dan lain-lain. Metode-metode tersebut antara lain:

1. Metode IDCS

Metode pengukuran ini menggunakan prinsip kapasitor, yang terdiri dari dua buah keping logam yang dipisahkan oleh bahan dielektrikum. Sensor ini mengukur kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan. Apabila kedua logam

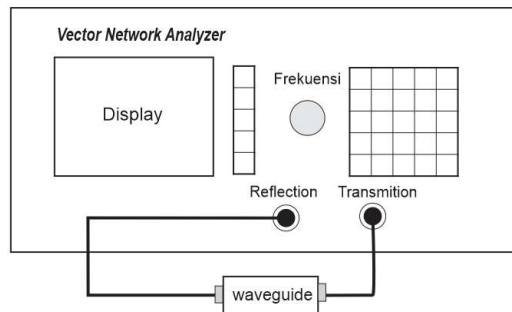
dihubungkan dengan sumber tegangan, maka muatan akan berkumpul pada ujung yang berlainan. Metode ini membutuhkan alat ukur kapasitansi untuk mengetahui besar muatan yang tersimpan.



Gambar 3.2 Pengukuran IDCS

2. Metode *Transmission/Reflection*

Pengukuran ini menggunakan *waveguide* atau koaksial yang dihubungkan pada sampel pengukuran. Metode ini mengukur parameter S yaitu sinyal pantulan (S_{11}) dan sinyal yang dikirimkan (S_{21}). Konversi nilai parameter S ke nilai konstanta dielektrik biasanya dihitung dengan menyelesaikan rumusan persamaan menggunakan program.



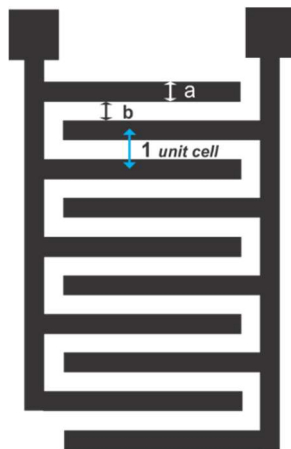
Gambar 3.3 Pengukuran metode *transmission/Reflection*

3.2 Pengukuran *Interdigital capacitor Sensor (IDCS)*

Pengukuran permitivitas dalam bentuk skalar ini menggunakan prinsip kapaistansi yang diukur menggunakan RCL meter. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengukuran permitivitas menggunakan IDCS adalah:

3.2.1 Persiapan Pengukuran

Sebelum dilakukan pengukuran perlu dilakukan persiapan. Diantaranya adalah mempersiapkan sistem pengukuran dan kalibrasi peralatan. Hal ini dilakukan dengan maksud agar sistem pengukuran dapat berjalan dengan baik sehingga didapatkan hasil pengukuran yang optimal. Tahap persiapan pengukuran meliputi studi literature, desain dan fabrikasi sensor. Desain sensor *interdigital capacitor* dibuat menggunakan program *Corel Draw X7*. Pada penelitian ini terdapat 4 konfigurasi IDCS yang divariasi. Masing-masing konfigurasi terdiri dari desain khusus. Parameter yang digunakan dalam IDCS dapat dilihat pada Gambar 3.4. lebar elektrode pada IDCS ditunjukkan oleh huruf *a* dan lebar *gap* ditunjukkan oleh huruf *b*. Satu *unit cell* ditunjukkan oleh tanda panah berwarna biru.



Gambar 3.4 Desain IDCS

Pada penelitian ini dilakukan variasi terhadap lebar elektrode, lebar *gap*, dan jumlah *unit cell*. Variasi lebar elektrode IDCS dilakukan pada keadaan jumlah *unit cell* dan lebar *gap* yang konstan yang masing-masing adalah 9 *unit cell* dan 2 mm. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi lebar elektrode

| No | Jenis IIDCS | Lebar elektrode (a) |
|----|-------------|---------------------|
| 1 | Tipe IDCS 1 | 2 mm |
| 2 | Tipe IDCS 2 | 2,5 mm |
| 3 | Tipe IDCS 3 | 3 mm |

Selanjutnya, dalam penelitian ini juga dilakukan variasi terhadap lebar *gap*. Variasi lebar *gap* IDCS dilakukan pada keadaan jumlah *unit cell* dan lebar elektrode yang konstan, yang masing-masing adalah 9 *unit cell* dan 2 mm. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Variasi lebar *gap*

| No | Jenis IDCS | Lebar <i>gap</i> (b) |
|----|-------------|----------------------|
| 1 | Tipe IDCS 4 | 2 mm |
| 2 | Tipe IDCS 5 | 2,5 mm |
| 3 | Tipe IDCS 6 | 3 mm |

Selain variasi lebar elektrode dan lebar *gap*, pada penelitian ini juga dilakukan variasi jumlah *unit cell*. Variasi jumlah *unit cell* dilakukan pada keadaan lebar elektrode dan lebar *gap* yang konstan, yang masing-masing adalah 2 mm. Variasi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Variasi jumlah *unit cell*

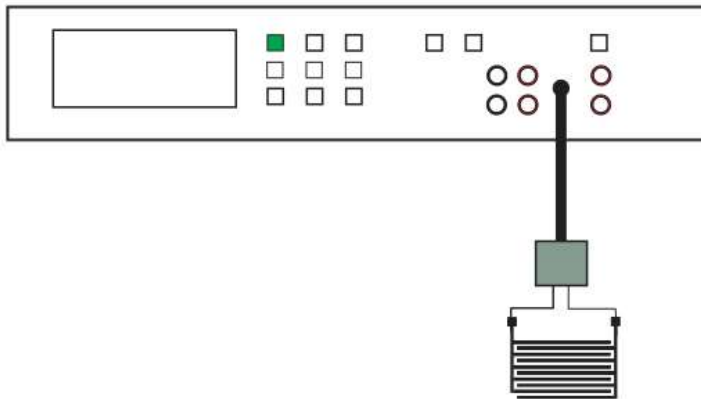
| No | Variasi IDCS | Jumlah <i>unit cell</i> |
|----|--------------|-------------------------|
| 1 | Tipe IDCS 7 | 7 |
| 2 | Tipe IDCS 8 | 9 |
| 3 | Tipe IDCS 9 | 11 |
| 4 | Tipe IDCS 10 | 13 |

Variasi yang terakhir adalah variasi lebar elektrode dan lebar *gap* dengan jumlah *unit cell* yang sama yaitu 9. Lebar elektrode dan lebar *gap* didesain memiliki lebar yang sama. Sehingga pada variasi ini akan dianalisa pengaruh lebar elektrode yang memiliki lebar yang sama dengan lebar *gap*. Lebar elektrode dan lebar *gap* yang divariasikan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Variasi lebar elektrode dan lebar *gap*

| No. | Variasi IDCS | Lebar elektrode (a) | Lebar gap (b) |
|-----|--------------|---------------------|---------------|
| 1 | Tipe IDCS 11 | 1 mm | 1 mm |
| 2 | Tipe IDCS 12 | 2 mm | 2 mm |
| 223 | Tipe IDCS 13 | 3 mm | 3 mm |

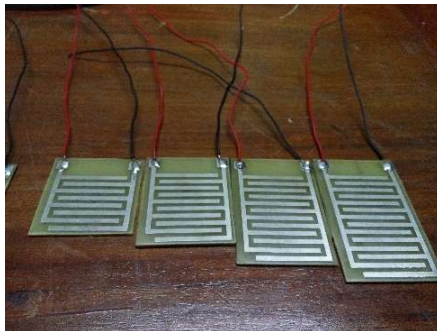
Tahap selanjutnya yaitu pencetakan desain pada PCB dengan bahan isolator FR-4 yang memiliki konstanta dielektrikum 4,75. PCB ini menggunakan tembaga sebagai pelapis konduktor dengan ketebalan 0,01 mm. Pengujian sensor dilakukan pada media udara, dimana udara telah diketahui nilai konstanta dielektrikunya. Sistem pengukuran ditunjukkan pada Gambar3.2. Sistem ini terdiri dari RCL meter, Termometer, tempat pengukuran yang berisi *crude oil*, dan sensor IDC dan tempatnya. IDCS dihubungkan dengan RCL meter menggunakan kabel. Material yang akan diukur diletakkan pada kotak berbentuk kubus dengan ukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm yang terbuat dari bahan akrilik, Setelah itu IDCS diletakkan didalam material yang mana bagian *gap* (dielektrikum) pada IDCS terisi material yang akan diuji. Sehingga besar kapasitansi pada IDCS dapat diukur menggunakan RCL meter.



Gambar 3.5 Blok diagram pengukuran menggunakan RCL meter

Fungsi masing-masing blok adalah:

a. IDCS



Gambar 3.6 IDCS

IDCS adalah sensor yang digunakan untuk mengukur permitivitas. Sensor ini menggunakan prinsip kapasitansi, sehingga hasil pengukuran yang didapat adalah kapasitansi.

b. Kabel

Gambar 3.7 kabel tunggal

Kabel digunakan untuk menghubungkan antara RCL meter dengan IDCs. Kabel yang digunakan adalah jenis kabel tunggal.

c. RCL

Gambar 3.8 RCL meter tipe PM 6303A

RCL meter adalah alat ukur yang terdiri dari beberapa sistem yang terintegrasi satu sama lain. Sehingga peralatan ini dapat digunakan untuk pengukuran resistor, kapasitor dan induktor. RCL meter yang digunakan dalam pengukuran adalah RCL meter merk PHILIPS tipe PM 6303A.

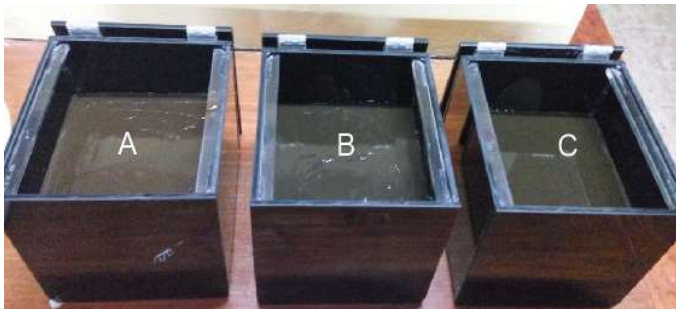
d. Kotak material



Gambar 3.9 Kotak material

Kotak yang digunakan sebagai tempat pengujian berbentuk kubus dengan rusuk 15 cm. Kotak ini menggunakan bahan akrilik. Jumlah kotak yang digunakan adalah 3 buah, sesuai dengan jenis *crude oil* yang akan diuji.

e. Material



Gambar 3.10 sample *crude oil* dari sumur A, B dan C

Material yang akan diuji adalah udara dan *crude oil*. *Crude oil* yang diuji diperoleh dari PT. Pertamina Persero kota Cepu. Dari tempat tersebut diperoleh *crude oil* dari tiga jenis sumur yang berbeda.

f. Termometer



Gambar 3.11 Termometer TM 903 A tipe K11

Termometer adalah alat ukur yang digunakan untuk mengukur suhu. Termometer yang digunakan adalah termometer TM 903 A tipe K11. Besaran suhu yang terukur ditampilkan dalam satuan Celcius.

3.2.1 Kalibrasi RCL meter

Sebelum melakukan pengukuran dengan RCL meter, terlebih dahulu alat dikalibrasi dengan menggunakan prosedur yang tertera pada buku pegangan RCL meter merk PHILIPS tipe PM 6303A. Proses kalibrasi RCL meter tidak membutuhkan perangkat tambahan karena pada piranti tersebut dilengkapi tombol untuk melakukan kalibrasi yaitu tombol *zero trim*. Kalibrasi dilakukan untuk menentukan deviasi (penyimpangan) kebenaran nilai konvensional penunjukan suatu instrument ukur serta menjamin hasil-hasil pengukuran sesuai dengan standar Nasional maupun Internasional.

Prosedur kalibrasi adalah sebagai berikut :

- Tekan tombol power pada bagian belakang RCL
- Tekan tombol AUTO berwarna hijau
- Tekan tombol zero trim
- Terdapat tulisan busy pada layar sekitar 3 detik

- e. Jika setelah itu tulisan pada layar berganti FAIL, hal tersebut menunjukkan bahwa kalibrasi tidak berhasil
- f. Jika tampilan pada layar menunjukkan pass maka RCL meter dapat digunakan
- g. Hubungkan probe RCL dengan komponen, kemudian catat nilai yang terbaca pada RCL

Setelah melalui proses kalibrasi, ketika probe tidak dihubungkan dengan komponen apapun alat ukur berada pada posisi stabil yaitu seperti ketika tidak ada besaran yang terukur. Ketika probe dihubungkan dengan komponen resistor $1\text{ k}\Omega$, hasil pengukuran menunjukkan angka $998\ \Omega$. Ketika dihubungkan dengan kapasitor $33\ \mu\text{F}$ hasil pengukuran menunjukkan nilai $32,07\ \mu\text{F}$.



Gambar 3.12 Hasil kalibrasi RCL meter

3.2.2 Pengukuran dan Pengambilan data

Setelah melakukan proses kalibrasi, maka pengukuran dapat dilakukan. Adapun pengukuran dalam pengukuran ini adalah:

1. IDCS dimasukkan kedalam *crude oil* yang telah dituangkan kedalam kotak hingga semua bagian IDCS tercelup. Kemudian hubungkan IDCS dengan RCL meter seperti Gambar3.10.
2. Data hasil pengukuran meliputi kapasitansi IDCS pada masing-masing variasi. Masing-masing variasi dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali yang bertujuan untuk mengetahui ketelitian pengukuran.



Gambar 3.13 Pengukuran dan pengambilan data metode IDCS

3.2.3 Perhitungan IDCS

Pada contoh perhitungan ini digunakan konfigurasi IDCS dengan desain lebar elektrode (a) = 3 mm, lebar gap (b) = 2 mm, $\epsilon_3 = 4,75$ F/m, $L = 30$ mm = 0,03 m, $N = 10$, ketebalan (h) = 0,01 mm. Berdasarkan persamaan 9-13 diperoleh bahwa nilai permitivitas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned}
 C_{UC} &= C/(N-1)L \\
 &= \frac{8,8 \cdot 10^{-12} \text{ Farad}}{(10-1) 0,03 \text{ m}} \\
 &= 36,67 \cdot 10^{-12} \text{ Farad/m} \dots\dots\dots (3.1)
 \end{aligned}$$

$$k = \frac{b}{a+b}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{2 \text{ mm}}{2 \text{ mm} + 3 \text{ mm}} \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

$$K(\sqrt{k^2}) = K(0,4) = 1,64 \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

$$K\sqrt{1-k^2} = K(0,91) = 2,36 \quad \dots\dots\dots(3.3)$$

Hasil dari perhitungan 3.1, 3.2 dan 3.3 disubstitusi kedalam persamaan dibawah ini, sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \epsilon_2 &= \frac{\frac{Cuc}{\epsilon_0} - \frac{\epsilon_3 K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}}{\frac{h}{b} + \frac{K \sqrt{1-k^2}}{2 \cdot K(\sqrt{k^2})}} \\ &= \frac{\frac{36,67 \cdot 10^{-12}}{8,85 \cdot 10^{-12}} - \frac{4,75 \cdot 1,64}{2 \cdot 2,36}}{\frac{0,01}{2} + \frac{1,64}{2 \cdot 2,36}} \\ &= 1.00307 \end{aligned}$$

Permitivitas udara yang terukur menggunakan IDCS dengan desain diatas adalah 1,003067. Sehingga diperoleh nilai error :

$$\begin{aligned} \% &= \left| \frac{\text{teori-eksperi}}{\text{teori}} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{1-1,00307}{1} \right| \times 100\% \\ &= 0,307 \% \end{aligned}$$

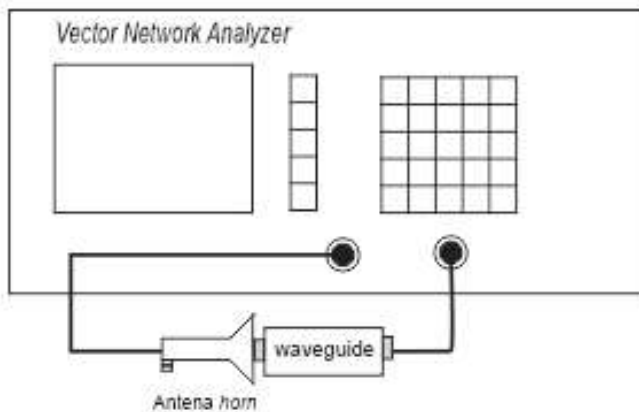
3.3 Pengukuran Permitivitas menggunakan VNA

Permitivitas bahan umumnya dinyatakan dalam bentuk bilangan kompleks yang terdiri dari bilangan real dan bilangan imajiner. Pengukuran permitivitas kompleks dilakukan dengan menggunakan alat ukur *Network analyzer* dengan metode refleksi dan transmisi. Langkah-langkah yang dilakukan dalam metode pengukuran ini adalah:

3.2.1 Persiapan Pengukuran

Tahap persiapan pengukuran merupakan tahap

perencanaan kegiatan pengukuran dalam menunjang pelaksanaan pengukuran. Persiapan pengukuran dilakukan agar kegiatan pengukuran dapat terlaksana dengan baik. Tahap persiapan pengukuran diantaranya adalah mempersiapkan sistem pengukuran dan proses kalibrasi. Sistem pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.14. Sistem ini terdiri dari satu buah *Network analyzer*, dua buah kabel koaksial, satu buah antena *horn* dan dua buah DUT (*device under test*) yang terdiri dari *waveguide* berbahan logam dan *waveguide* akrilik dengan tebal 3 mm. *Material under test* ditempatkan pada DUT yang diletakkan didepan antena *horn*. Antena *horn* berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi sinyal elektromagnetik kemudian meradiasikannya. hasil radiasi dari gelombang ini akan melewati *crude oil* pada DUT.



Gambar 3.14 Blok diagram pengukuran dengan VNA

Fungsi dari masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. *Vector network analyzer*



Gambar 3.15 *vector network analyzer*

Vector network analyzer adalah alat ukur yang terdiri dari beberapa sistem yang terintegrasi satu sama lain, sehingga alat ukur ini mampu mengukur sistem yang kompleks. *Network analyzer* yang digunakan dalam pengukuran adalah tipe Advantest R3770, yang memiliki sumber gelombang dengan frekuensi antara hingga 4 GHz. *Vector network analyzer* memiliki dua buah port yaitu port input (transmisi) dan port output (refleksi). Dengan menggunakan *network analyzer* dapat diukur koefisien transmisi dan refleksi yang dialami gelombang ketika mengenai *material under test*. Koefisien refleksi dan koefisien transmisi merupakan hasil perbandingan antara masing-masing sinyal dengan sinyal *incident*. Sinyal *incident* adalah sinyal referensi.

Mekanisme pengambilan data *network analyzer* adalah dengan cara menembakkan atau memancarkan gelombang elektromagnetik dengan alat pembangkit gelombang dengan range frekuensi gelombang mikro. Gelombang tersebut diteruskan dan diinterpretasikan oleh *vector network analyzer* sehingga didapatkan data berupa grafik. Fungsi VNA yaitu untuk mengukur karakteristik suatu sistem. Ada beberapa parameter NA yang dapat

digunakan dalam pengukuran antara lain parameter H, Y, Z dan S. Parameter S merupakan parameter yang digunakan untuk frekuensi tinggi. Dalam pengukuran nilai konstanta dielektrik *crude oil*, *vector network analyzer* digunakan untuk mengukur nilai real dan imajiner parameter S dari sistem.

2. Kabel Koaksial



Gambar 3.16 Kabel koaksial

Kabel koaksial digunakan untuk sambungan antara alat ukur *vector network analyzer* dengan *Material under test* (MUT) yaitu *crude oil*. Koaksial yang digunakan adalah koaksial semi rigid.

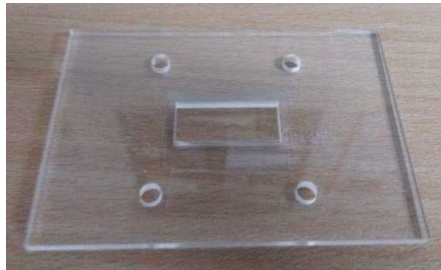
3. Antena Horn



Gambar 3.17 Antena horn

Antena *horn* digunakan untuk transmisi dan penerimaan sinyal yang digunakan pada frekuensi gelombang mikro. Dalam pengukuran ini, antena *horn* dihubungkan dengan kabel koaksial

4. *Device under test (DUT)*



Gambar 3.18 *Device under test* mika

DUT merupakan alat yang digunakan untuk meletakkan *crude oil* pada saat pengukuran. Kedua sisi DUT ditutupi dengan mika plastik yang tipis. DUT yang digunakan pada pengukuran ini yaitu menggunakan mika akrilik dengan ketebalan 3 mm yang telah dibentuk seukuran penampang *waveguide* tipe WR90.

3.2.2 Kalibrasi *vector network analyzer*

Sebelum melakukan pengukuran menggunakan *network analyzer*, alat harus dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrasi VNA menggunakan kabel dan konektor. Kalibrasi dilakukan untuk mengatasi redaman kabel saat pengukuran. Prosedur kalibrasi menggunakan perlengkapan kalibrasi dari VNA Advantest R3770 dengan kit kalibrasi tipe 3,5 mm.

Prosedur kalibrasi adalah sebagai berikut:

1. Mengoneksikan salah satu ujung kabel koaksial pada port 1 *network analyzer* sedangkan ujung lain dihubungkan pada antena *horn*.
2. Diatur frekuensi dari 1 GHz sampai 4 GHz

3. Pilih menu Call, kemudian pilih kalibrasi yang digunakan
4. Memilih standar kalibrasi untuk satu port yaitu port 1
5. Memasang kit kalibrasi open
6. Menekan tombol kalibrasi untuk open
7. Mengganti perangkat kalibrasi dengan short dan load
8. Menyimpan state kalibrasi

3.2.3 Pengukuran dan Pengambilan data

Setelah melakukan proses kalibrasi, maka pengukuran dapat dilakukan. Adapun langkah-langkah dalam pengukuran adalah:

1. Setelah semua perangkat disambungkan, letakkan sampel *crude oil* yang telah dimasukkan kedalam DUT didepan antena *horn*. Posisi pengukuran dapat dilihat pada Gambar
2. Hasil yang diperoleh dari pengukuran yaitu :
Daya *incident* (Daya yang diperoleh saat antena *horn* kosong dan *crude oil* dalam mika akrilik dengan ketebalan 3 mm
3. Data hasil pengukuran berupa daya transmisi dan daya refleksi

3.2.4 Perhitungan permitivitas menggunakan VNA

Menggunakan persamaan 14-18 dengan data hasil pengukuran pada *crude oil* C diperoleh $S_{11\text{real}} = 0,115$, $S_{11\text{imajiner}} = 0,026$, dan $S_{21\text{real}} = 0,151$ $S_{21\text{imajiner}} = -0,064$ pada frekuensi 3,142857 GHz. Ketebalan material yang diukur adalah setebal 3 mm. Sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Gamma &= \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \pm \sqrt{\left(\frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}}\right)^2 - 1} \\ &= \frac{0,0139 - 0,0269 + 1}{2 \times 0,1179} + \sqrt{\left(\frac{0,0139 - 0,0269 + 1}{2 \times 0,1179}\right)^2 - 1} \\ &= 8,25\end{aligned}\quad (3.1)$$

$$T = \frac{S_{11} + S_{21} - \Gamma}{1 - (S_{11} + S_{21}) \Gamma}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,1179+0,164- ,25}{1-(0,1179+ ,164)8,25} \\
&= 6,01
\end{aligned} \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned}
\frac{1}{\Lambda^2} &= -\left(\frac{1}{2\pi L} \ln\left[\frac{1}{T}\right]\right)^2 \\
&= -\left(\frac{1}{2\pi 0,003} \ln\left[\frac{1}{6,01}\right]\right)^2 \\
&= 9062,112i \\
\Lambda &= 0,0105i
\end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned}
\mu_r &= \frac{1+\Gamma}{\Lambda(1-\Gamma)\sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2}-\frac{1}{\lambda_c^2}}} \\
&= \frac{1+8,25}{0,0105i(1-8,25)\sqrt{109,75}} ,78 \\
&= 14,726
\end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_r &= \mu_r \frac{(1-\Gamma)^2}{(1+\Gamma)^2} \left(1 - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2}\right) + \frac{\lambda_0^2}{\lambda_c^2} \frac{1}{\mu_r} \\
&= 14,726 \frac{(1-8,25)^2}{(1+8,25)^2} \left(1 - \frac{109,75}{177,78}\right) + \frac{109,75}{177,78} \frac{1}{14,726} \\
&= 3.091293
\end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan mengenai analisis pengukuran dan perhitungan nilai konstanta dielektrik *crude oil* menggunakan IDCS (*InterDigital Capacitor Sensor*), pengaruh perubahan parameter geometri (konfigurasi) IDC terhadap nilai permitivitas *crude oil*. Hasil pengukuran IDCS kemudian dibandingkan atau dikalibrasi menggunakan alat ukur permitivitas *vector network analyzer* (VNA).

4.1 Perhitungan Permitivitas (IDCS)

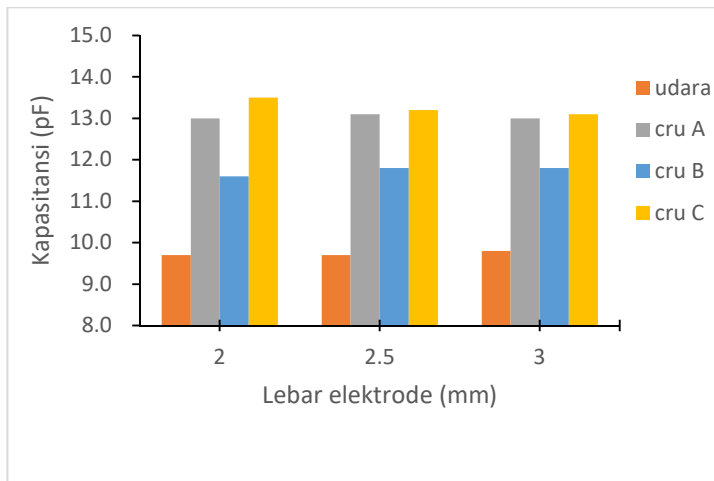
Metode pengukuran permitivitas menggunakan IDCS merupakan salah satu metode yang sederhana, membutuhkan biaya rendah, dan konsumsi daya kecil jika dibandingkan dengan metode pengukuran permitivitas lainnya. Pengukuran permitivitas menggunakan IDCS dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika yang bertempat di lantai 3 gedung G Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengukuran dilakukan pada temperatur 26-27,2 °C.

Penelitian ini menggunakan *material under test* berupa udara dan tiga sampel *crude oil*. Bahan-bahan tersebut diukur di dalam kotak material berbentuk kubus yang terbuat dari akrilik berukuran 15 cm³. Akrilik digunakan sebagai kotak material karena akrilik merupakan bahan isolator yang sulit melepaskan elektron apabila diberi energi dari luar. Sehingga kotak ini kompatibel dengan IDCS.

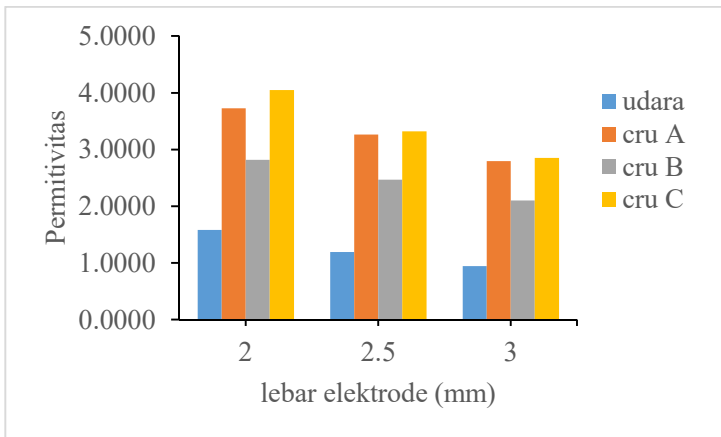
Penelitian ini menggunakan 4 variasi model konfigurasi IDCS. Variasi tersebut meliputi variasi lebar elektrode (a), lebar *gap* (b), jumlah *unit cell* (N), dan variasi lebar elektrode dan lebar *gap* dimana lebar *gap* sama dengan lebar elektrode. Untuk memeriksa sensor IDC yang telah dibuat, maka sensor digunakan untuk mengukur permitivitas relatif udara yang

memiliki permitivitas sebesar 1. Hasil keluaran IDCS adalah kapasitansi yang diukur menggunakan RCL meter.

Besar kapasitansi yang terukur berada dalam urutan pF karena menggunakan lapisan tembaga yang sangat tipis dan menggunakan bahan dielektrikum dengan permitivitas yang rendah. Ketebalan lapisan tembaga yang digunakan yaitu 0,01 mm sedangkan ketebalan substrat yang digunakan adalah 2 mm. IDCS dicetak pada bidang datar seperti PCB (*Printed Circuit Board*). IDCS yang digunakan terbuat dari PCB dengan substrat FR-4 yang memiliki konstanta dielektrikum 4,75 F/m dengan lapisan konduktor tembaga yang tidak murni. Gambar 4.1 menunjukkan hasil pengukuran kapasitansi dengan bahan dielektrikum udara. Gambar 4.2 menunjukkan hasil perhitungan permitivitas udara dan tiga sampel *crude oil* menggunakan variasi lebar elektrode. Variasi lebar elektrode (a) yang digunakan adalah $a = 2$ mm, $a = 2.5$ mm, $a = 3$ mm. Nilai tersebut dipilih guna menyesuaikan volume sampel *crude oil*.



Gambar 4.1 Hubungan antara kapasitansi dan lebar elektrode

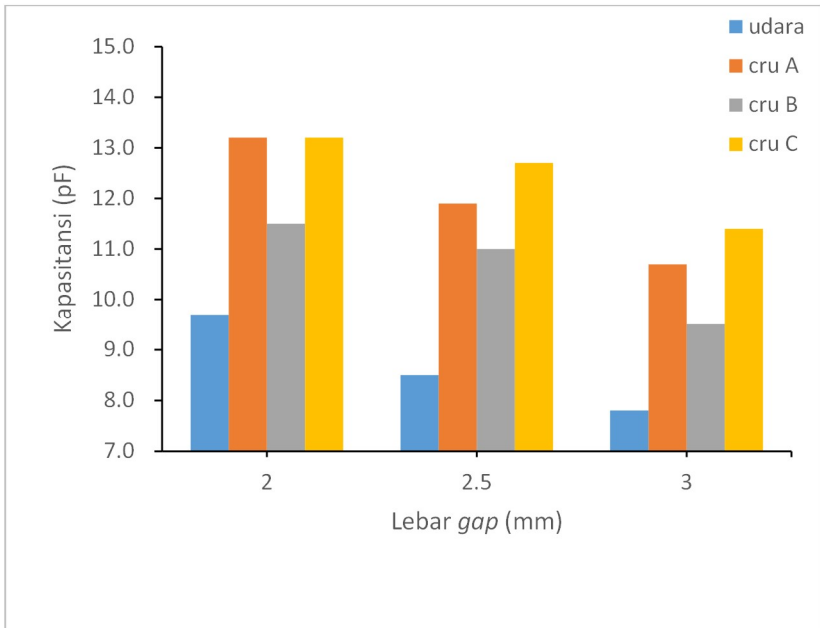


Gambar 4.2 Hubungan antara permitivitas dan lebar elektrode

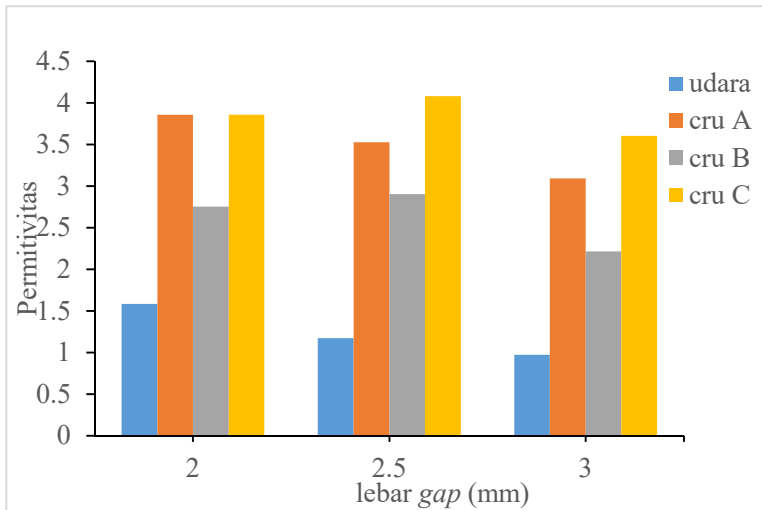
Gambar 4.1 merupakan grafik antara kapasitansi dan lebar elektrode, berdasarkan gambar tersebut diperoleh nilai kapasitansi yang relatif konstan. Adapun pembacaan grafik diatas yaitu empat bar pada angka 2 menunjukkan kapasitansi yang diperoleh dari hasil pengukuran IDCs pada udara dan crude oil pada IDCs dengan variasi lebar elektrode 2 mm. Hal ini disebabkan oleh penambahan lebar elektrode yang kecil yaitu 0,5 mm. Dengan nilai kapasitansi yang konstan pada setiap variasi lebar elektrode, diperoleh nilai permitivitas yang berbanding terbalik terhadap lebar elektrode yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. berdasarkan Gambar tersebut, diperoleh nilai permitivitas yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya lebar elektrode. Pada pengukuran dan perhitungan permitivitas udara, hasil perhitungan yang mendekati nilai permitivitas udara adalah konfigurasi IDCs dengan lebar elektrode 2 mm. Hal ini disebabkan karena, ketika bahan dielektrik berada dalam medan listrik, muatan listrik yang terkandung di dalamnya tidak mengalami pergerakan sehingga tidak akan timbul arus seperti bahan konduktor ataupun semikonduktor, tetapi hanya sedikit bergeser dari posisi

setimbangnya yang mengakibatkan terciptanya pengutuban dielektrik. Pengutuban – pengutuban tersebut menyebabkan muatan positif bergerak menuju kutub negatif medan listrik, sedangkan muatan negatif bergerak pada arah berlawanan (yaitu menuju kutub positif medan listrik). Sehingga muatan yang terdapat dalam udara akan tertarik pada bagian tepi elektrode.

Variasi yang kedua merupakan variasi lebar *gap* (b). Lebar *gap* adalah jarak antara dua elektrode. Variasi yang digunakan dalam pengukuran ini yaitu $b = 2 \text{ mm}$, $b = 2,5 \text{ mm}$ dan $b = 3 \text{ mm}$, nilai a yang digunakan yaitu $a = 2 \text{ mm}$, sedangkan jumlah *unit cell* yang digunakan yaitu 9. Berikut adalah data hasil pengukuran permitivitas dengan variasi lebar *gap*:



Gambar 4.3 Hubungan antara kapasitansi dan lebar *gap*



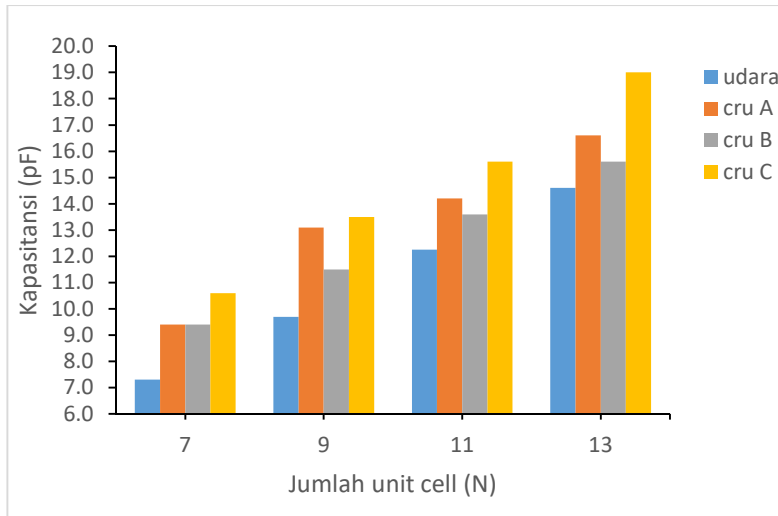
Gambar 4.4 Hubungan antara permitivitas dan lebar gap

Berdasarkan hasil pengukuran kapasitansi IDCS yang terukur oleh RCL meter pada Gambar 4.3, diperoleh nilai kapasitansi yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya lebar gap. Setelah dilakukan perhitungan terhadap permitivitas diperoleh bahwa permitivitas udara dan *crude oil* tipe A mengalami penurunan ketika lebar elektrode diperbesar. Pada Gambar 4.4 pada *crude oil* tipe B dan C diperoleh nilai permitivitas yang tidak linier seperti pengukuran kapasitansi. Hal ini disebabkan oleh kandungan setiap *crude oil* yang berbeda. Secara umum setiap bahan memiliki muatan positif dan muatan negatif. Benda yang memiliki muatan listrik tersebut memiliki medan listrik pada setiap titiknya. Kehadiran medan listrik disekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipole listrik.

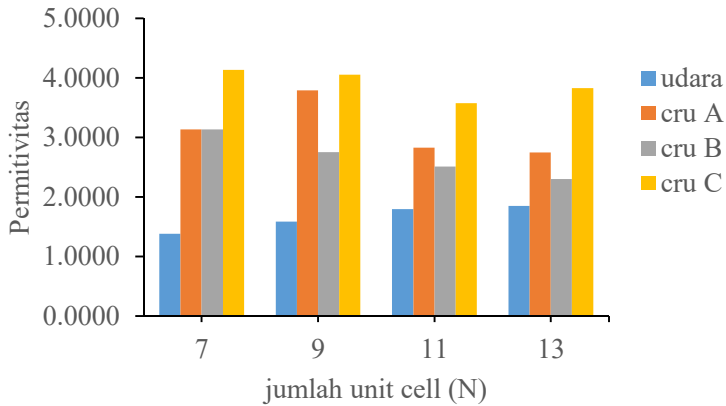
Untuk menghasilkan medan listrik E yang kuat dari suatu kapasitor keping sejajar yang terdiri dari dua keping yang sama luasnya dan terpisah dengan jarak tertentu, maka jarak tersebut harus lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar keping. Hal ini bertujuan agar polarisasi dipol dalam bahan dielektrik

mendekati sempurna sehingga banyak muatan yang tersimpan. Nilai permitivitas udara yang memiliki nilai error terkecil yaitu 27,97% adalah IDCS dengan lebar *gap* 2,5 mm.

Variasi yang ketiga adalah variasi jumlah *unit cell*. Variasi yang digunakan untuk variasi *unit cell* meliputi *unit cell* = 7, *unit cell* = 9 *unit cell* = 11. Variasi ini menggunakan parameter lebar elektroda 2 mm dan lebar *gap* 2 mm dengan ketebalan lapisan tembaga dan substrat yang tetap. Variasi jumlah *unit cell* sering disebut dengan variasi jumlah jari pada IDCS, semakin besar jumlah *unit cell* maka semakin besar pula jumlah jari pada IDCS. Hasil pengukuran variasi jumlah *unit cell* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 Hubungan antara kapasitansi dan jumlah *unit cell*

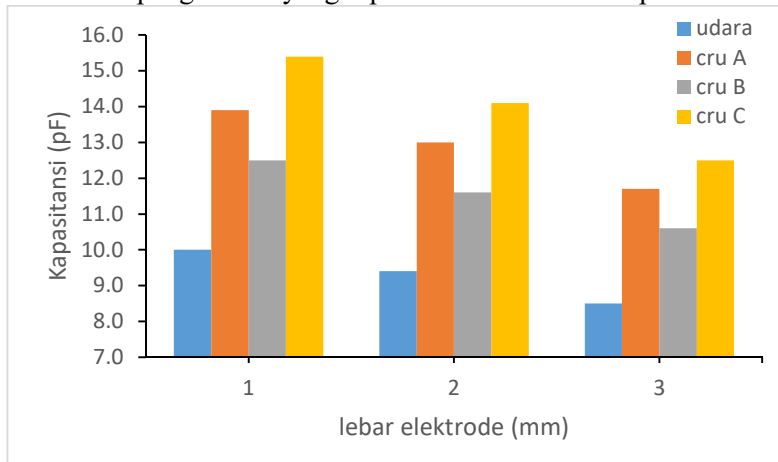


Gambar 4.6 Hubungan permitivitas antara udara dan sampel *crude oil* dengan variasi jumlah *unit cell*

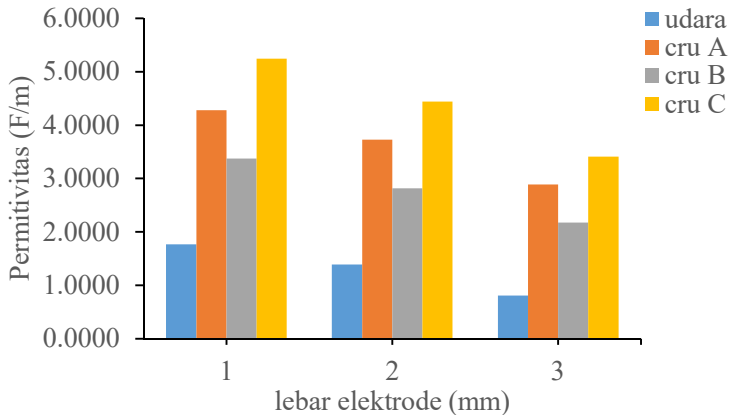
Jumlah *unit cell* mewakili jumlah kapasitor yang tersusun secara paralel dalam sensor IDC. Satu *unit cell* merupakan satu satuan kapasitor yang terdiri dari 2 elektrode tembaga yang terpisah sejauh lebar *gap*. Beberapa kapasitor yang dihubungkan paralel dan diberi tegangan V , memiliki tegangan pada setiap kapasitor sama dengan tegangan sumber yang dicantumkan. Beberapa kapasitor disusun paralel apabila keping-keping kapasitor yang bermuatan sejenis digabungkan menjadi satu, yaitu kutub positif dijadikan satu dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan dan kutub negatif dijadikan satu dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan. Pada masing-masing kapasitor yang dihubungkan paralel memiliki beda potensial yang sama karena pada masing-masing kapasitor terhubung langsung dengan sumber tegangan, akan tetapi muatan pada masing masing kapasitor berbeda. Besarnya muatan total susunan kapasitor tersebut merupakan jumlah masing-masing muatan dalam kapasitor penyusunnya. Sehingga nilai kapasitansi kapasitor berbanding lurus dengan jumlah kapasitor yang digunakan.

Gambar 4.5 yang merupakan grafik antara kapasitansi dan jumlah *unit cell* memiliki hubungan yang berbanding lurus. Semakin besar jumlah *unit cell* maka semakin besar pula kapasitansi yang terukur. Terlihat pada grafik variasi *unit cell* pada Gambar 4.6 terhadap permitivitas udara, diperoleh nilai permitivitas udara yang semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah *unit cell*. Namun, grafik antara permitivitas *crude oil* tipe A, B dan C memiliki karakteristik yang berbeda dengan grafik permitivitas udara. Hal ini disebabkan oleh kandungan masing-masing sampel yang menghasilkan pengukuran yang berbeda. Hasil pengukuran dan perhitungan permitivitas udara, diperoleh error terkecil yaitu 22,7% saat jumlah *unit cell* 7.

Variasi yang keempat merupakan variasi gabungan antara variasi 1 dan 2, namun pada variasi ini lebar *gap* sama dengan lebar elektrode. Sehingga variasi yang diberikan meliputi variasi $a = 1$ mm dan $b = 1$ mm, $a = 2$ mm $b = 2$ mm dan $a = 3$ mm dan $b = 3$ mm. Hasil pengukuran yang diperoleh dari variasi empat adalah:



Gambar 4.7 Hubungan antara kapasitansi, lebar elektrode dan lebar *gap*



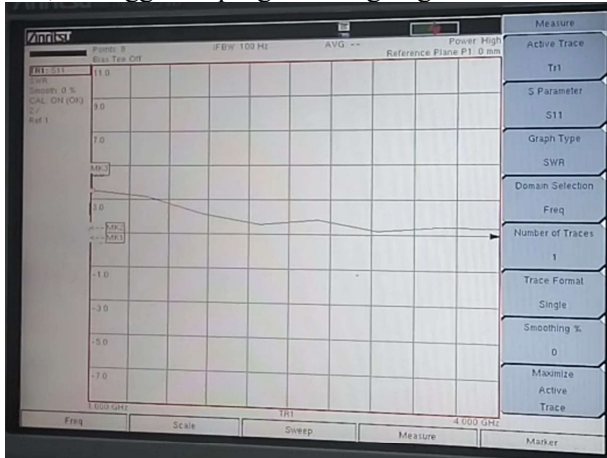
Gambar 4.8 Hubungan antara permitivitas, lebar elektrode dan lebar *gap*

Berdasarkan hasil pengukuran diperoleh nilai bahwa semakin besar a dan b nilai permitivitas yang diperoleh semakin menurun. Berdasarkan pembahasan pada variasi 1 diketahui bahwa variasi lebar elektrode memiliki pengaruh yang kecil terhadap nilai kapasitansi, sehingga pada variasi ini murni dipengaruhi oleh lebar elektrode (b). Dimana semakin besar jarak antara elektrode mengakibatkan kuat medan listrik dari luar semakin melemah, sehingga polarisasi yang dihasilkan tidak maksimum. Hal ini mengakibatkan kemampuan bahan untuk menyimpan muatan tidak optimum. Nilai permitivitas udara yang dihasilkan yaitu semakin besar nilai b nilai permitivitas semakin kecil.

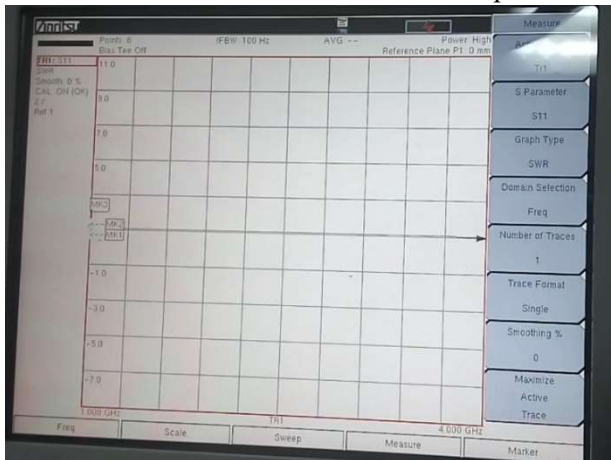
4.2 Perhitungan permitivitas (*Vector Network Analyzer*)

Pengukuran permitivitas selanjutnya adalah pengukuran permitivitas menggunakan metode *transmission* dan *reflection* menggunakan alat ukur *vector network analyzer*. Data yang diperoleh berupa data dari parameter S yaitu S_{11} dan S_{21} . Pada penelitian ini digunakan antenna horn yang memiliki rentang frekuensi 1GHz- 18GHz, namun rentang frekuensi yang dihasilkan oleh VNA hanya antara 1 GHz-4GHz. Sehingga range frekuensi

pada penelitian ini berkisar antara 1GHz-4GHz. *Device Under Test* yang digunakan merupakan mika akrilik dengan ketebalan 3 mm. Sebelum melakukan pengukuran, masing-masing port dikalibrasi terlebih dahulu. Gambar 4.9 menunjukkan hasil kalibrasi port refleksi S_{11} , sehingga tampil grafik Logmag.



Gambar 4.9 Nilai VSWR saat kalibrasi port S_{11}



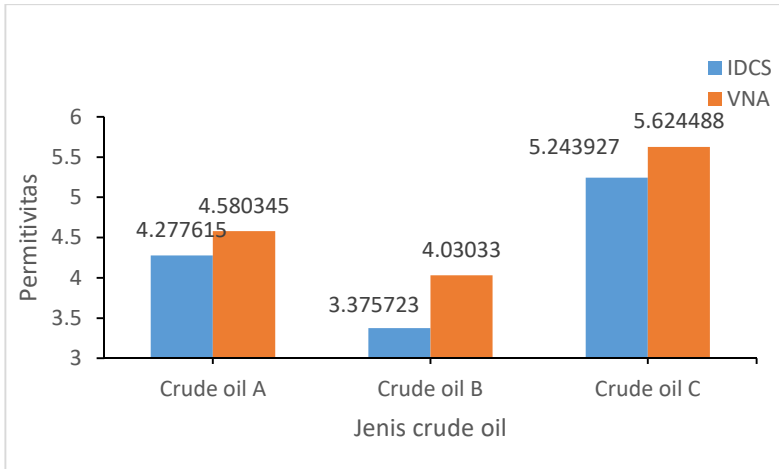
Gambar 4.10 Nilai S_{11} saat kalibrasi port S_{11}

Pengujian port S_{11} diperoleh nilai VSWR (*Voltage Wave Standing Ratio*) yang merupakan rasio antara gelombang datang dan gelombang pantul. Port S_{11} merupakan parameter hamburan yang menggunakan prinsip refleksi. Nilai VSWR merupakan nilai kecocokan antara antenna dan transmitter. Jika kedua bahan tersebut cocok maka nilai VSWR yang diperoleh mendekati 1. Secara teori, nilai VSWR yang memiliki tingkat kesesuaian tinggi seharusnya memiliki nilai sama dengan 1. Namun secara praktek, nilai VSWR tidak pernah bernilai 1, namun mendekati nilai 1. Hal ini disebabkan oleh faktor loss yang terjadi pada sambungan antara kabel dan antenna atau sambungan antara kabel dan VNA. Pada Gambar 4.9 diperoleh nilai VSWR yang mendekati 1 pada frekuensi 3,1 GHz. Sehingga, frekuensi yang dijadikan sebagai acuan pengukuran dan perhitungan permitivitas *crude oil* adalah frekuensi 3,1 GHz. Sedangkan pada Gambar 4.10 diperoleh nilai S_{11} yang bernilai 0 yang menunjukkan bahwa semua gelombang dari sumber dipantulkan sempurna. Hasil yang diperoleh untuk port S_{21} sama dengan hasil yang diperoleh pada proses kalibrasi port S_{11} . Hasil pengukuran menunjukkan nilai 0 yang menunjukkan bahwa semua gelombang ditransmisikan.

Tabel 4.1 merupakan Tabel perbandingan nilai permitivitas *crude oil* yang diperoleh menggunakan IDCS dan menggunakan VNA. Dan dari ketiga variasi konfigurasi IDCS diperoleh konfigurasi dengan selisih terkecil yaitu pada konfigurasi dengan lebar elektroda sama dengan lebar *gap* dengan nilai 1 mm.

Tabel 4.1 Perbandingan hasil pengukuran IDCS dan VNA

| Jenis sampel | IDCS | VNA |
|--------------------|------|----------|
| <i>Crude oil A</i> | 3,09 | 4.580345 |
| <i>Crude oil B</i> | 2,2 | 4.03033 |
| <i>Crude oil C</i> | 3,6 | 5.624488 |



Gambar 4.11 Grafik antara permitivitas dan jenis *crude oil*

Berdasarkan Tabel 4.1, hasil pengukuran menggunakan IDCS dan VNA memiliki selisih, hal ini disebabkan adanya rongga udara didalam sampel pada pengukuran VNA. Berdasarkan pengukuran IDCS dan VNA diperoleh nilai permitivitas *crude oil* A adalah 4,2 – 4,6, *crude oil* B yaitu 4,3-4,6, dan *crude oil* tipe C yaitu antara 5,2-5,6.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan permitivitas *crude oil* diperoleh bahwa :

1. Permitivitas *crude oil* mengalami penurunan ketika lebar elektrode, lebar *gap*, dan jumlah *unit cell* bertambah.
2. Permitivitas udara dengan error terkecil yaitu 2,73 % ketika diukur menggunakan konfigurasi IDCS tipe 6 dengan spesifikasi lebar elektrode 2 mm, lebar *gap* 3 mm, dan jumlah *unit cell* 9.
3. Hasil perhitungan permitivitas *crude oil* menggunakan jenis IDCS diatas diperoleh permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman kurang dari 1500 ft (*Crude oil A*) adalah 3,09, permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman 1500-2000 ft (*Crude oil B*) adalah 2,2 dan permitivitas *crude oil* yang diambil dari kedalaman lebih dari 2000 ft (*Crude oil C*) adalah 3,6. Dengan *crude oil* yang sama, dilakukan pula pengukuran permitivitas menggunakan VNA dengan hasil permitivitas *crude oil A* adalah 4,6, permitivitas *crude oil B* adalah 4,03, dan permitivitas *crude oil C* adalah 5,62.

5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan :

1. Menggunakan alat ukur dengan tingkat ketelitian dan stabilitas yang lebih tinggi agar data yang diperoleh lebih akurat
2. Menggunakan lebih dari satu alat ukur, agar data yang diperoleh lebih akurat
3. Memastikan tidak terdapat udara yang terperangkap di dalam sampel pada pengukuran menggunakan VNA
4. Menggunakan wadah pengukuran yang terbuat dari bahan isolator

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Angkawisittpan, N. 2012. Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor sensor. Measurement Science Review Vol.12 No. 1
- Bao-Liang Chen. 2008. "Alternative energy hits the road". Worcester Polytechnic Institute (WPI).
- Becker, J.R. 1997, *Crude oil*, waxes, emulsion and Alphasenes, Pennwell Publishing, Tulsa, Oklahoma
- Bientinesi, M., Pertaca, L., Cerutti, A., Bandinelli, M., (2013), "Journal Petroleum Science and Engineering", *A radiofrequency/ microwave heating method for thermal heavy oil recovery based on novel tight-shell conceptual design*, Science Direct, Vol. 107, Hal. 18-30
- Charles F. Conaway, 1999, *The Petroleum Industry A Notechnical Guide*, PennWell
- D.R. Lide, Ed. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 85th Ed. CRC Press. Boca Raton. 2004. halaman 8-141
- Dwiandi.staff.telkomuniversity.ac.id/files/016/01/10_DTG-2M3-ALAT-UKUR-DAN-PENGUKURAN-TELEKOMUNIKASI_DNN_NETWORK-ANALYZER.pdf Jumat 23 Desember 2016 : 08.00 WIB
- Erlan, Dewita., Priambodo, D., Ariyanto, S., (2013) "Pengembangan Nuklir", *Penentuan Jarak PLTN dengan Sumur Minyak Untuknhanced Oil Recovery Ditinjau Dari Aspek Kehilangan Panas dan Keselamatan*, Pusat Pengembangan Enerhgi Nuklir (PPEN)-BATAN, Vol. 25. No.2.
- Hugh D. Young dan Roger A. Freedman, 2002, Fisika Universitas, Jakarta: Erlangga
- Jun Wan Kim, Praveen Pasupathy, dkk, 2009, Measurement

- of liquid complex dielectric constants using non contact sensors, IEEE-978-1-4244-5335
- Moechtar,1990. Mekanika Fluida. Jakarta : Erlangga
- Pratitajati Endyas. 2012. Karakterisasi Mikrostruktural Material Penyerap Gelombang Elektromagnetik Senyawa $\text{La}_x\text{Ba}_{(1-x)}\text{Fe}_{0.25}\text{Mn}_{0.5}\text{Ti}_{0.25}\text{O}_3$, ($x= 0, 0.25, 0.75, 1$). Jakarta : Universitas Indonesia
- Rachmat, Sudjati. 2009. Analisis Pengaruh Penggunaan Brine dan Nanoferrofluids terhadap Faktor Perolehan Pada *Heavy Oil* Melalui Pemanasan Induksi Elektromagnetik. JTM Vol. XVI No. 3
- Shirasama Yasutomo dkk, 2015, Implementation of Wide Range Soil Moisture Profile Probe by Coplanar Plate Capacitor on Film Substrate, IEEE-978-4799-8203-5
- Triana Fify. 2010. Pengukuran dan Pemodelan Konstanta Dielektrik Air hujan pada frekuensi Gelombang Mikro. Surabaya : ITS
- Waluyo, Agus.2004.Petunjuk Praktikum Fisika Dasar.Surabaya:ITS
- Yasin Ghulam.dkk.2013. "Quality and chemistry of *crude oils*". Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels. Academic Journals

LAMPIRAN 1

Hasil pengukuran kapasitansi IDCS menggunakan RCL meter

Tabel 1. Permittivitas udara dengan lebar elektrode 2mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |

Tabel 2. Permittivitas udara dengan lebar elektrode 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 9.7 | 35.92593 | 1.191348 | 19.13484 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.191348 | 19.13484 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.191348 | 19.13484 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.191348 | 19.13484 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.191348 | 19.13484 |

Tabel 3. Permittivitas udara dengan lebar elektrode 3 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 9.8 | 36.2963 | 0.945287 | 5.471309 |
| 9.8 | 36.2963 | 0.945287 | 5.471309 |
| 9.8 | 36.2963 | 0.945287 | 5.471309 |
| 9.8 | 36.2963 | 0.945287 | 5.471309 |
| 9.8 | 36.2963 | 0.945287 | 5.471309 |

Tabel 4. Permittivitas udara dengan lebar gap = 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |

Tabel 5. Permittivitas udara dengan lebargap = 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 8.5 | 31.48148 | 1.170784 | 17.07839 |
| 8.5 | 31.48148 | 1.170784 | 17.07839 |
| 8.5 | 31.48148 | 1.170784 | 17.07839 |
| 8.5 | 31.48148 | 1.170784 | 17.07839 |
| 8.5 | 31.48148 | 1.170784 | 17.07839 |

Tabel 6. Permittivitas udara dengan lebar gap = 3 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 7.8 | 28.88889 | 0.972717 | 2.728341 |
| 7.8 | 28.88889 | 0.972717 | 2.728341 |
| 7.8 | 28.88889 | 0.972717 | 2.728341 |
| 7.8 | 28.88889 | 0.972717 | 2.728341 |
| 7.8 | 28.88889 | 0.972717 | 2.728341 |

Tabel 7. Permittivitas udara dengan unit cell = 7

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 7.3 | 34.7619 | 1.380096 | 38.00964 |
| 7.3 | 34.7619 | 1.380096 | 38.00964 |
| 7.3 | 34.7619 | 1.380096 | 38.00964 |
| 7.3 | 34.7619 | 1.380096 | 38.00964 |
| 7.3 | 34.7619 | 1.380096 | 38.00964 |

Tabel 8. Permittivitas udara dengan unit cell = 9

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |
| 9.7 | 35.92593 | 1.584132 | 58.41323 |

Tabel 9. Permittivitas udara dengan unit cell = 11

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 12.25 | 37.12121 | 1.793648 | 79.36485 |
| 12.25 | 37.12121 | 1.793648 | 79.36485 |
| 12.25 | 37.12121 | 1.793648 | 79.36485 |
| 12.25 | 37.12121 | 1.793648 | 79.36485 |
| 12.25 | 37.12121 | 1.793648 | 79.36485 |

Tabel 10. Permittivitas udara dengan unit cell = 13

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 14.6 | 37.4359 | 1.848808 | 84.88082 |
| 14.6 | 37.4359 | 1.848808 | 84.88082 |
| 14.6 | 37.4359 | 1.848808 | 84.88082 |
| 14.6 | 37.4359 | 1.848808 | 84.88082 |
| 14.6 | 37.4359 | 1.848808 | 84.88082 |

Tabel 11. Permittivitas udara dengan $a = b = 1 \text{ mm}$

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 10 | 37.03704 | 1.765202 | 76.52022 |
| 10 | 37.03704 | 1.765202 | 76.52022 |
| 10 | 37.03704 | 1.765202 | 76.52022 |
| 10 | 37.03704 | 1.765202 | 76.52022 |
| 10 | 37.03704 | 1.765202 | 76.52022 |

Tabel 12. Permittivitas udara dengan $a = b = 2 \text{ mm}$

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 9.4 | 34.81481 | 1.389371 | 38.93707 |
| 9.4 | 34.81481 | 1.389371 | 38.93707 |
| 9.4 | 34.81481 | 1.389371 | 38.93707 |
| 9.4 | 34.81481 | 1.389371 | 38.93707 |
| 9.4 | 34.81481 | 1.389371 | 38.93707 |

Tabel 13. Permittivitas udara dengan $a = b = 3\text{mm}$

| $C_{\text{total}} (\text{pF})$ | $C_{\text{uc}} (\text{pF/m})$ | ϵ_k | Error (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| 8.5 | 31.48148 | 0.807173 | 19.28269 |
| 8.5 | 31.48148 | 0.807173 | 19.28269 |
| 8.5 | 31.48148 | 0.807173 | 19.28269 |
| 8.5 | 31.48148 | 0.807173 | 19.28269 |
| 8.5 | 31.48148 | 0.807173 | 19.28269 |

Tabel 14. Permittivitas crude oil A dengan lebar elektrode 2mm

| $C_{\text{total}} (\text{pF})$ | $C_{\text{uc}} (\text{pF/m})$ | ϵ_k | Error (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |

Tabel 15. Permittivitas crude oil A dengan lebar elektrode 2,5mm

| $C_{\text{total}} (\text{pF})$ | $C_{\text{uc}} (\text{pF/m})$ | ϵ_k | Error (%) |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------|-----------|
| 13.1 | 48.51852 | 3.26177 | 28.78769 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.26177 | 28.78769 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.26177 | 28.78769 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.26177 | 28.78769 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.26177 | 28.78769 |

Tabel 16. Permittivitas crude oil A dengan lebar elektrode 3 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13 | 48.14815 | 2.794265 | 38.99444 |
| 13 | 48.14815 | 2.794265 | 38.99444 |
| 13 | 48.14815 | 2.794265 | 38.99444 |
| 13 | 48.14815 | 2.794265 | 38.99444 |
| 13 | 48.14815 | 2.794265 | 38.99444 |

Tabel 17. Permittivitas crude oil A dengan lebar gap 2 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 15.80656 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 15.80656 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 15.80656 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 15.80656 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 15.80656 |

Tabel 18. Permittivitas crude oil A dengan lebar gap 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.9 | 44.07407 | 3.526515 | 23.00766 |
| 11.9 | 44.07407 | 3.526515 | 23.00766 |
| 11.9 | 44.07407 | 3.526515 | 23.00766 |
| 11.9 | 44.07407 | 3.526515 | 23.00766 |
| 11.9 | 44.07407 | 3.526515 | 23.00766 |

Tabel 19. Permittivitas crude oil A denga lebar gap 3 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 10.7 | 39.62963 | 3.090123 | 32.53516 |
| 10.7 | 39.62963 | 3.090123 | 32.53516 |
| 10.7 | 39.62963 | 3.090123 | 32.53516 |
| 10.7 | 39.62963 | 3.090123 | 32.53516 |
| 10.7 | 39.62963 | 3.090123 | 32.53516 |

Tabel 20. Permittivitas crude oil A denga unit cell =7

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 9.4 | 44.7619 | 3.13295 | 31.60013 |
| 9.4 | 44.7619 | 3.13295 | 31.60013 |
| 9.4 | 44.7619 | 3.13295 | 31.60013 |
| 9.4 | 44.7619 | 3.13295 | 31.60013 |
| 9.4 | 44.7619 | 3.13295 | 31.60013 |

Tabel 21. Permittivitas crude oil A denga unit cell =9

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.1 | 48.51852 | 3.79143 | 17.22394 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.79143 | 17.22394 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.79143 | 17.22394 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.79143 | 17.22394 |
| 13.1 | 48.51852 | 3.79143 | 17.22394 |

Tabel 22. Permittivitas crude oil A dengan unit cell =11

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 14.2 | 43.0303 | 2.829426 | 38.2268 |
| 14.2 | 43.0303 | 2.829426 | 38.2268 |
| 14.2 | 43.0303 | 2.829426 | 38.2268 |
| 14.2 | 43.0303 | 2.829426 | 38.2268 |
| 14.2 | 43.0303 | 2.829426 | 38.2268 |

Tabel 23. Permittivitas crude oil A dengan unit cell =13

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 16.6 | 42.5641 | 2.747708 | 40.01091 |
| 16.6 | 42.5641 | 2.747708 | 40.01091 |
| 16.6 | 42.5641 | 2.747708 | 40.01091 |
| 16.6 | 42.5641 | 2.747708 | 40.01091 |
| 16.6 | 42.5641 | 2.747708 | 40.01091 |

Tabel 24. Permittivitas crude oil dengan a= b = 1 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.9 | 51.48148 | 4.277615 | 6.609337 |
| 13.9 | 51.48148 | 4.277615 | 6.609337 |
| 13.9 | 51.48148 | 4.277615 | 6.609337 |
| 13.9 | 51.48148 | 4.277615 | 6.609337 |
| 13.9 | 51.48148 | 4.277615 | 6.609337 |

Tabel 25. Permittivitas crude oil dengan $a = b = 2 \text{ mm}$

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |
| 13 | 48.14815 | 3.726509 | 18.64131 |

Tabel 26. Permittivitas crude oil A dengan $a = b = 3 \text{ mm}$

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.7 | 43.33333 | 2.890014 | 36.904 |
| 11.7 | 43.33333 | 2.890014 | 36.904 |
| 11.7 | 43.33333 | 2.890014 | 36.904 |
| 11.7 | 43.33333 | 2.890014 | 36.904 |
| 11.7 | 43.33333 | 2.890014 | 36.904 |

Tabel 27. Permittivitas crude oil B dengan lebar elektrode 2mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |

Tabel 28. Permittivitas crude oil B dengan lebar elektrode 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.8 | 49.16667 | 2.470138 | 38.71128 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.470138 | 38.71128 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.470138 | 38.71128 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.470138 | 38.71128 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.470138 | 38.71128 |

Tabel 29. Permittivitas crude oil B dengan lebar elektrode 3mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.8 | 49.16667 | 2.100898 | 47.8728 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.100898 | 47.8728 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.100898 | 47.8728 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.100898 | 47.8728 |
| 11.8 | 49.16667 | 2.100898 | 47.8728 |

Tabel 30. Permittivitas crude oil B dengan lebar gap = 2mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |

Tabel 31. Permittivitas crude oil B dengan lebar gap = 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 11 | 45.83333 | 2.902939 | 27.97267 |
| 11 | 45.83333 | 2.902939 | 27.97267 |
| 11 | 45.83333 | 2.902939 | 27.97267 |
| 11 | 45.83333 | 2.902939 | 27.97267 |
| 11 | 45.83333 | 2.902939 | 27.97267 |

Tabel 32. Permittivitas crude oil B dengan lebar gap = 3 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 9.5 | 39.58333 | 2.213955 | 45.06766 |
| 9.5 | 39.58333 | 2.213955 | 45.06766 |
| 9.5 | 39.58333 | 2.213955 | 45.06766 |
| 9.6 | 40 | 2.286969 | 43.25605 |
| 9.5 | 39.58333 | 2.213955 | 45.06766 |

Tabel 33. Permittivitas crude oil B dengan unit cell = 7

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 9.4 | 52.22222 | 3.13295 | 22.26567 |
| 9.4 | 52.22222 | 3.13295 | 22.26567 |
| 9.4 | 52.22222 | 3.13295 | 22.26567 |
| 9.4 | 52.22222 | 3.13295 | 22.26567 |
| 9.4 | 52.22222 | 3.13295 | 22.26567 |

Tabel 34. Permittivitas crude oil B dengan unit cell = 9

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |

| | | | |
|------|----------|----------|----------|
| 11.5 | 47.91667 | 2.752701 | 31.70035 |
|------|----------|----------|----------|

Tabel 35. Permittivitas crude oil B dengan unit cell = 11

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.6 | 45.33333 | 2.510725 | 37.70424 |
| 13.6 | 45.33333 | 2.510725 | 37.70424 |
| 13.6 | 45.33333 | 2.510725 | 37.70424 |
| 13.6 | 45.33333 | 2.510725 | 37.70424 |
| 13.6 | 45.33333 | 2.510725 | 37.70424 |

Tabel 36. Permittivitas crude oil B dengan unit cell = 13

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 15.6 | 43.33333 | 2.298258 | 42.97594 |
| 15.6 | 43.33333 | 2.298258 | 42.97594 |
| 15.6 | 43.33333 | 2.298258 | 42.97594 |
| 15.6 | 43.33333 | 2.298258 | 42.97594 |
| 15.6 | 43.33333 | 2.298258 | 42.97594 |

Tabel 37. Permittivitas crude oil B dengan $a = b = 1$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 12.5 | 52.08333 | 3.375723 | 16.24202 |
| 12.5 | 52.08333 | 3.375723 | 16.24202 |
| 12.5 | 52.08333 | 3.375723 | 16.24202 |
| 12.5 | 52.08333 | 3.375723 | 16.24202 |
| 12.5 | 52.08333 | 3.375723 | 16.24202 |

Tabel 38. Permittivitas crude oil B dengan $a = b = 2$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |
| 11.6 | 48.33333 | 2.817622 | 30.08955 |

Tabel 39. Permittivitas crude oil B dengan $a = b = 3$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 10.6 | 44.16667 | 2.174038 | 46.05807 |
| 10.6 | 44.16667 | 2.174038 | 46.05807 |
| 10.6 | 44.16667 | 2.174038 | 46.05807 |
| 10.6 | 44.16667 | 2.174038 | 46.05807 |
| 10.6 | 44.16667 | 2.174038 | 46.05807 |

Tabel 40. Permittivitas crude oil C dengan lebar elektrode 2mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |

Tabel 41. Permittivitas crude oil C dengan lebar elektrode 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.2 | 48.88889 | 3.322664 | 40.92503 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.322664 | 40.92503 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.322664 | 40.92503 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.322664 | 40.92503 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.322664 | 40.92503 |

Tabel 42. Permittivitas crude oil C dengan lebar elektrode 3mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.1 | 48.51852 | 2.852046 | 49.29234 |
| 13.1 | 48.51852 | 2.852046 | 49.29234 |
| 13.1 | 48.51852 | 2.852046 | 49.29234 |
| 13.1 | 48.51852 | 2.852046 | 49.29234 |
| 13.1 | 48.51852 | 2.852046 | 49.29234 |

Tabel 43. Permittivitas crude oil C dengan lebar gap 2mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 31.43642 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 31.43642 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 31.43642 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 31.43642 |
| 13.2 | 48.88889 | 3.85635 | 31.43642 |

Tabel 44. Permittivitas crude oil C dengan lebar gap 2,5 mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 12.7 | 47.03704 | 4.080805 | 27.44575 |
| 12.7 | 47.03704 | 4.080805 | 27.44575 |
| 12.7 | 47.03704 | 4.080805 | 27.44575 |
| 12.7 | 47.03704 | 4.080805 | 27.44575 |
| 12.7 | 47.03704 | 4.080805 | 27.44575 |

Tabel 45. Permittivitas crude oil C dengan lebar gap 3mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 11.4 | 42.22222 | 3.601221 | 35.97246 |
| 11.4 | 42.22222 | 3.601221 | 35.97246 |
| 11.4 | 42.22222 | 3.601221 | 35.97246 |
| 11.4 | 42.22222 | 3.601221 | 35.97246 |
| 11.4 | 42.22222 | 3.601221 | 35.97246 |

Tabel 46. Permittivitas crude oil C dengan unit cell = 7

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 10.6 | 50.47619 | 4.134581 | 26.48964 |
| 10.6 | 50.47619 | 4.134581 | 26.48964 |
| 10.6 | 50.47619 | 4.134581 | 26.48964 |
| 10.6 | 50.47619 | 4.134581 | 26.48964 |
| 10.6 | 50.47619 | 4.134581 | 26.48964 |

Tabel 47. Permittivitas crude oil C dengan unit cell = 9

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |
| 13.5 | 50 | 4.051112 | 27.97368 |

Tabel 48. Permittivitas crude oil C dengan unit cell = 11

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 15.6 | 47.27273 | 3.573061 | 36.47313 |
| 15.6 | 47.27273 | 3.573061 | 36.47313 |
| 15.6 | 47.27273 | 3.573061 | 36.47313 |
| 15.6 | 47.27273 | 3.573061 | 36.47313 |
| 15.6 | 47.27273 | 3.573061 | 36.47313 |

Tabel 49. Permittivitas crude oil C dengan unit cell = 13

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|-------------------------|------------------------|--------------|-----------|
| 19 | 48.71795 | 3.826387 | 31.96915 |
| 19 | 48.71795 | 3.826387 | 31.96915 |
| 19 | 48.71795 | 3.826387 | 31.96915 |
| 19 | 48.71795 | 3.826387 | 31.96915 |
| 19 | 48.71795 | 3.826387 | 31.96915 |

Tabel 50. Permittivitas crude oil C dengan $a = b = 1$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 15.4 | 57.03704 | 5.243927 | 6.766129 |
| 15.4 | 57.03704 | 5.243927 | 6.766129 |
| 15.4 | 57.03704 | 5.243927 | 6.766129 |
| 15.4 | 57.03704 | 5.243927 | 6.766129 |
| 15.4 | 57.03704 | 5.243927 | 6.766129 |

Tabel 51. Permittivitas crude oil C dengan $a = b = 2$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 14.1 | 52.22222 | 4.440635 | 21.04819 |
| 14.1 | 52.22222 | 4.440635 | 21.04819 |
| 14.1 | 52.22222 | 4.440635 | 21.04819 |
| 14.1 | 52.22222 | 4.440635 | 21.04819 |
| 14.1 | 52.22222 | 4.440635 | 21.04819 |

Tabel 52. Permittivitas crude oil C dengan $a = b = 3$ mm

| C_{total} (pF) | C_{uc} (pF/m) | ϵ_k | Error (%) |
|------------------|-----------------|--------------|-----------|
| 12.5 | 46.2963 | 3.410725 | 39.35937 |
| 12.5 | 46.2963 | 3.410725 | 39.35937 |
| 12.5 | 46.2963 | 3.410725 | 39.35937 |
| 12.5 | 46.2963 | 3.410725 | 39.35937 |
| 12.5 | 46.2963 | 3.410725 | 39.35937 |

LAMPIRAN 2

Data pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer*

Tabel 53. Data pengukuran permitivitas crude oil A

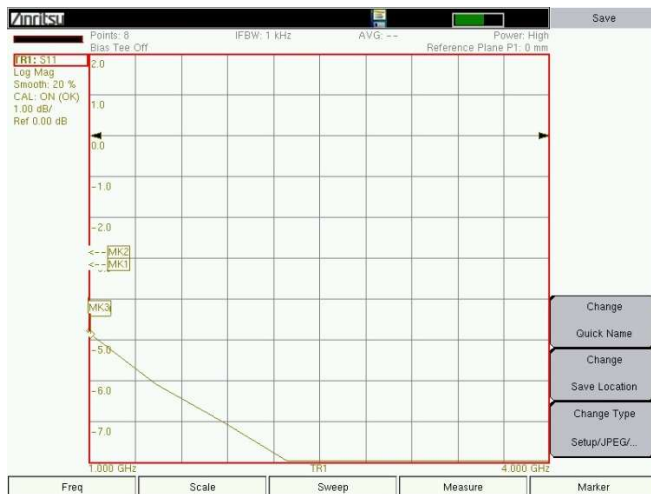
| frekuensi | A | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| | S11 real | S11 Imaj | S21 real | S21 imaj |
| 1 | -0.553 | -0.036 | 0.207 | 0.056 |
| 1.42857146 | 0.348 | 0.342 | -0.12 | -0.205 |
| 1.85714293 | 0.233 | -0.36 | -0.214 | 0.173 |
| 2.28571439 | -0.222 | 0.041 | -0.009 | 0.164 |
| 2.71428561 | 0.114 | 0.276 | 0.137 | 0.003 |
| 3.14285731 | 0.11 | 0.054 | 0.173 | -0.142 |
| 3.57142854 | 0.081 | 0.225 | -0.005 | -0.071 |
| 4 | 0.123 | -0.014 | -0.082 | -0.037 |

Tabel 54. Data pengukuran permitivitas crude oil B

| frekuensi | B | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| | S11 real | S11 Imaj | S21 real | S21 imaj |
| 1 | -0.598 | -0.041 | 0.224 | 0.076 |
| 1.42857146 | 0.378 | 0.38 | -0.116 | -0.217 |
| 1.85714293 | 0.171 | -0.367 | -0.247 | 0.141 |
| 2.28571439 | -0.27 | 0.104 | -0.061 | 0.159 |
| 2.71428561 | 0.163 | 0.327 | 0.146 | 0.054 |
| 3.14285731 | 0.192 | 0.042 | 0.188 | -0.09 |
| 3.57142854 | 0.144 | 0.136 | 0.065 | -0.092 |
| 4 | 0.118 | -0.057 | -0.085 | -0.076 |

Tabel 55. Data pengukuran permitivitas crude oil B

| frekuensi | C | | | |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| | S11 real | S11 Imaj | S21 real | S21 imaj |
| 1 | -0.584 | -0.009 | 0.22 | 0.072 |
| 1.42857146 | 0.388 | 0.35 | -0.085 | -0.222 |
| 1.85714293 | 0.139 | -0.341 | -0.227 | 0.159 |
| 2.28571439 | -0.29 | 0.139 | -0.018 | 0.179 |
| 2.71428561 | 0.204 | 0.319 | 0.153 | 0.059 |
| 3.14285731 | 0.115 | 0.026 | 0.151 | -0.064 |
| 3.57142854 | 0.109 | 0.107 | 0.002 | -0.067 |
| 4 | 0.157 | -0.061 | -0.057 | -0.082 |

Gambar 1. Pengukuran S_{11} saat antenna horn kosong



Gambar 2. Pengukuran S_{21} saat antenna horn kosong



Gambar 3. Parameter S_{11} imajiner pada crude oil A

Gambar 4. Parameter S_{11} real pada crude oil AGambar 5. Pengukuran S_{21} real crude oil A

Gambar 6. Pengukuran S_{21} crude oil AGambar 7. Pengukuran S_{11} Imaginer crude oil B

Gambar 8. Pengukuran S_{11} real crude oil BGambar 9. Pengukuran S_{21} real crude oil B

Gambar 10. Pengukuran S_{21} Imaginer crude oil BGambar 11. Pengukuran S_{11} Imaginer crude oil C

Gambar 12. Pengukuran S_{11} real crude oil CGambar 13. Pengukuran S_{21} Imajiner crude oil C



Gambar 14. Pengukuran S_{21} real crude oil C

Lampiran 3

Spesifikasi alat

| | | |
|--------------------|------|------|
| SCHWARZBECK | | |
| BBHA 9120 D (0501) | | |
| D 69250 Schöna | | |
| Germany | | |
| Freq | gi | AF |
| GHz | dBi | dB/m |
| 1.0 | 5.5 | 24.7 |
| 1.2 | 6.9 | 24.9 |
| 1.4 | 7.3 | 25.8 |
| 1.6 | 9.2 | 25.1 |
| 1.8 | 10.2 | 25.1 |
| 2.0 | 9.9 | 26.3 |
| 2.5 | 10.6 | 27.6 |
| 3.0 | 11.5 | 28.3 |
| 3.5 | 12.6 | 28.5 |
| 4.0 | 12.7 | 29.5 |
| 4.5 | 12.8 | 30.5 |
| 5.0 | 12.7 | 31.5 |
| 6.0 | 13.4 | 32.4 |
| 7.0 | 11.9 | 35.2 |
| 8.0 | 11.4 | 36.9 |
| 9.0 | 12.2 | 37.1 |
| 10.0 | 12.1 | 38.2 |
| 11.0 | 11.4 | 39.7 |
| 12.0 | 13.0 | 38.8 |
| 13.0 | 13.7 | 38.8 |
| 14.0 | 12.2 | 41.0 |
| 15.0 | 12.7 | 41.1 |
| 16.0 | 17.1 | 37.2 |
| 17.0 | 15.4 | 39.4 |
| 18.0 | 7.3 | 48.0 |
| GHz | dBi | dB/m |

Gambar 15. Spesifikasi antenna horn

| FR-4 CCL Performance | | | |
|--|--|--|--|
| Test Item | Sample Condition | Specification | Type Data |
| 1. Peel Strength 181Inch, mm A 1/2 OZ After thermal stress At 125°C [257°F] After process solutions B 10Z After thermal stress At 125°C [257°F] After process solutions | A A 125°C 125°C A A 125°C 125°C | ≥ 6.0 ≥ 6.0 ≥ 4.0 ≥ 4.5 ≥ 6.0 ≥ 6.0 ≥ 7.0 ≥ 7.0 | 6.0-6.0 6.0-6.0 7.0 7.0 6.0-10.0 6.0-10.0 9.0 9.0 |
| 2. Volume Resistivity, minimum, MΩ.CM At elevated temperature E-24/125 | E-24/125 | ≥ 10 ³ | 10 ⁶ |
| 3. Surface Resistivity, minimum, MΩ.CM At elevated temperature E-24/125 | E-24/125 | ≥ 10 ³ | 10 ⁶ |
| 4. Moisture Absorption, maximum | E-1/105+des | ≤ 0.80 | 0.15-0.35 |
| 5. Dielectric Breakdown, minimum, KV (≥ 0.50 mm) | D-48/50 D-0.5/23 | ≥ 40 | 40 |
| 6. Flexural Strength, minimum (N/mm ²) (≥ 0.50 mm) Length direction Cross direction | A A D-48/50 D-0.5/23 | ≥ 415 ≥ 345 ≥ 60 | 490 408 70 |
| 7. Arc Resistance, minimum, Second | A | UL94V0 | UL94V0 |
| 8. Flammability | A | Solder | Solder |
| 9. Solder | A | ≤ 5.4 | 4.6-4.9 |
| 10. Permittivity, 1MHZ F | A | ≤ 0.040 | 0.020-0.035 |
| 11. Loss Tangent, 1MHZ F | A | ≤ 1.0 | 0.20-0.45 |
| 12. Twist And Bow, Max (%) Double Side (≥ 0.78mm; Size 300mm x 300mm) Single Side (≥ 0.78mm; Size 300mm x 300mm) Double Side (0.5-0.78 mm; Size 300mm x 300mm) Single Side (0.5-0.78 mm; Size 300mm x 300mm) | A A A A | ≤ 1.5 ≤ 1.5 ≤ 1.5 ≤ 2.0 | 0.30-0.60 0.30-0.60 0.25-0.45 0.35-0.60 |
| 13. Thermal Stress, 268°C, 10 F Unetched | A A | NO DEFECT | 60-80 Sec. |
| 14. GLASS TRANSITION, TG(DSC°C) | | ≥ 125 | 135 |
| 15. CTI(V) Consultable | | 175-250 | |

Gambar 16. Tabel spesifikasi PCB dari Spektra Bandung

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Blitar, 13 Juli 1995, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara yang merupakan putri dari Bapak Supriono dan Ibu Zuliati. Saat ini penulis tinggal bersama orang tua di Dsn Jeruk Mandesan RT 3 RW 4 Kecamatan Selopuro, Kabupaten Blitar Jawa Timur. Penulis telah menempuh

pendidikan formal yaitu di TK Dharma Wanita II, SDN Mandesan II, SMPN 1 Wlingi, dan SMAN 1 Talun. Setelah lulus dari SMAN 1 Talun tahun 2013, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di jurusan Fisika FMIPA ITS pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 1113100013. Di Jurusan Fisika ini Penulis mengambil Bidang Studi Instrumentasi dan Elektronika. Penulis sempat aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas MIPA pada tahun 2014-2016 di departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM), asisten praktikum Elektronika Dasar 1, asisten praktikum Elektronika Dasar 2, Asisten dosen Fisika Dasar 1, asisten dosen Fisika Dasar 2, dan asisten praktikum Pengantar Instrumentasi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"